

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNEE 1957

THÈSE

433
N

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PAR

René, Pierre, Dominique PERLES

Élève de l'École du Service de Santé Militaire

Né le 27 Mai 1929, à Oran (Algérie)

Présentée et soutenue publiquement le 23 mai 1957

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE
D'UNE NOUVELLE ÉPREUVE D'APTITUDE A L'EFFORT
L'ÉPREUVE DE L'ESCABEAU

*Travail effectué au Centre d'Enseignement
et de Recherche de Médecine Aéronautique*

Président : M. CHAILLEY-BERT, Professeur

PARIS
IMPRIMERIE R. FOULON
29, RUE DEPARCIEUX, 29
1957



Digitized by the Internet Archive
in 2026

FACULTE DE MEDECINE DE PARIS

Nom du Candidat : PERLES

Prénoms : RENÉ, PIERRE, DOMINIQUE

Date de soutenance : 23 mai 1957

Numéro d'ordre :

(Ces deux mentions seront complétées par le Service de la Bibliothèque)

PERLES (RENÉ, PIERRE, DOMINIQUE) — Contribution à l'étude d'une nouvelle épreuve d'aptitude à l'effort : l'épreuve de l'escabeau. — Paris, Imp. R. Foulon, 1957, in-8°, 87 p., 10 fig.

(Thèse Médec. (Etat), Paris, 1957, N°).

PERLES (RENÉ, PIERRE, DOMINIQUE) — Contribution à l'étude d'une nouvelle épreuve d'aptitude à l'effort : l'épreuve de l'escabeau. — Paris, Imp. R. Foulon, 1957, in-8°, 87 p., 10 fig.

(Thèse Médec. (Etat), Paris, 1957, N°).

PERLES (RENÉ, PIERRE, DOMINIQUE) — Contribution à l'étude d'une nouvelle épreuve d'aptitude à l'effort : l'épreuve de l'escabeau. — Paris, Imp. R. Foulon, 1957, in-8°, 87 p., 10 fig.

(Thèse Médec. (Etat), Paris, 1957, N°).

PERLES (RENÉ, PIERRE, DOMINIQUE) — Contribution à l'étude d'une nouvelle épreuve d'aptitude à l'effort : l'épreuve de l'escabeau. — Paris, Imp. R. Foulon, 1957, in-8°, 87 p., 10 fig.

(Thèse Médec. (Etat), Paris, 1957, N°).

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNEE 1957

THÈSE

N°

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PAR

René, Pierre, Dominique PERLES

Élève de l'École du Service de Santé Militaire

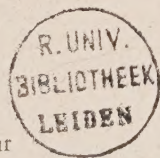
Né le 27 Mai 1929, à Oran (Algérie)

Présentée et soutenue publiquement le 23 mai 1957

**CONTRIBUTION A L'ETUDE
D'UNE NOUVELLE EPREUVE D'APTITUDE A L'EFFORT
L'EPREUVE DE L'ESCABEAU**

*Travail effectué au Centre d'Enseignement
et de Recherche de Médecine Aéronautique*

Président : M. CHAILLEY-BERT, Professeur



PARIS

IMPRIMERIE R. FOULON

29, RUE DEPARCIEUX, 29

1957

PROFESSEURS HONORAIRES :

MM. Bénard (H.), Brocq (P.), Bulliard (H.), Cadenat (F.), Carnot (P.), Chabrol (Et.), Champy (C.), Chevassu (M.), Debré (R.), Delbet (P.), Donzelot (E.), Gastinel (P.), Guillaïn (G.), Halphen (E.), Harvier (P.), Laroche (G.), Laubry (Ch.), Lemaître (F.), Lévy-Solal (E.), Lhermitte (J.), Lian (C.), Loeper (M.), Marion (G.), Mathieu (P.), Mocquot (P.), Mondor (H.), Mulon (P.), Olivier (E.), Richet (Ch.), Sannié (Ch.), Sézary (A.), Tanon (L.), Velter (E.).

DOYEN Léon BINET
Membre de l'Institut

ASSEESSEUR Jean VERNE

I. — PROFESSEURS

	MM.
Anatomie	CORDIER (G.)
Anatomie pathologique	DELARIE (A.)
Bactériologie	FASQUELLE (R.)
Biochimie médicale	JAYLE (M.-F.)
Biologie appliquée à l'Education physique et aux Sports	CHAILLEY-BERT (P.)
Biologie médicale	FAUVERT (R.)
Cancérologie médicale et sociale	BERNARD (J.)
Clinique de cardiologie	MOUQUIN (M.)
Cliniques chirurgicales	Beaujon SICARD (A.)
	Cochin QUÉNU (J.)
	Hôtel-Dieu MÉNÉGAUX (G.)
	Salpêtrière MOULONGUET (P.)
Clinique chirurgicale réparatrice et orthopédique	MERLE D'AUBIGNÉ (R.)
Clinique de chirurgie cardio-vasculaire	DE GAUDART-D'ALLAINES (F.)
Clinique de chirurgie infantile et orthopédie	FÈVRE (M.)
Clinique de chirurgie pleuro-pulmonaire	MONOD (R.)
Clinique gynécologique	FUNCK-BRENTANO (P.)
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	DEGOS (R.)
Clinique des maladies des enfants	CATHALA (J.)
Clinique des maladies infectieuses	MOLLARET (P.)
Clinique des maladies mentales et de l'encéphale	DELAY (J.)
Clinique des maladies métaboliques	HAMBURGER (J.)
Clinique des maladies du sang	CHEVALLIER (P.)
Clinique des maladies du système nerveux	ALAJOUANINE (T.)
	Bichat JUSTIN-BESANÇON (L.)
Cliniques médicales	Broussais DE GENNES (L.)
	Cochin MOREAU (R.)
	Hôtel-Dieu BARIÉTY (M.)
Clinique médicale d'hydro-climatologie thérapeutique	DEBRAY (C.)
Clinique médicale propédeutique	PASTEUR VALLERY-RADOT (L.)
Clinique médico-sociale du diabète sucré et des maladies de la nutrition	BOULIN (R.)
Clinique de neuro-chirurgie	PETIT-DUTAILLIS (D.)
Cliniques obstétricales	Baudelocque LACOMME (M.)
	Port-Royal VARANGOT (J.)
Clinique d'obstétrique et de gynécologie	LANTUÉJOUL (P.)
Clinique ophtalmologique	RENARD (G.)
Clinique oto-rhino-laryngologique	AUBIN (A.)
Clinique de pneumo-phthisiologie	BERNARD (E.)
Clinique psychiatrique infantile	HEUYER (C.)
Clinique de puériculture	LELONG (M.)
Clinique rhumatologie médicale et sociale	COSTE (F.)
Clinique stomatologique	DECHAUME (M.)
Clinique thérapeutique chirurgicale	SÉNÈQUE (J.)
Clinique thérapeutique médicale	LEMAIRE (A.)

Clinique urologique	FEY (B.)
Embryologie	GIROUD (A.)
Génétique médicale	LAMY (M.)
Histoire de la médecine et de la chirurgie	SOULIÉ (P.)
Histologie	VERNE (J.)
Hygiène et clinique de la première enfance	TURPIN (R.)
Hygiène et médecine préventive	JOANNON (C.)
Médecine légale	PIÉDELIEVRE (R.)
Médecine du Travail	DESOILLE (H.)
Parasitologie et histoire naturelle médicale	GALLIARD (H.)
Pathologie chirurgicale	COUVELAIRE (R.)
Pathologie exotique	LAVIER (G.)
Pathologie expérimentale et comparée	LENÈGRE (J.)
Pathologie humorale et immunologie expérimentale (chaire à titre personnel)	MERKLEN (F.)
Pathologie médicale	DECOURT (J.)
Pathologie et thérapeutique générales	GARCIN (J.)
Pédiatrie sociale	MARIE (J.)
Pharmacologie et matière médicale	HAZARD (R.)
Physico-chimie médicale (chaire à titre personnel)	DOGNON (A.)
Physiologie	BINET (L.)
Physique médicale	STROHL (A.)
Radiologie médicale	DESGREZ (H.)
Technique chirurgicale	PATEL (J.)
Thérapeutique	BROUET (G.)

II. — PROFESSEURS SANS CHAIRE MAITRES DE CONFERENCES-AGREGES ET AGREGES

MM.	MM.
Anatomie	Neurologie
{ DELMAS (A.) <i>pr. s. ch.</i>	{ LHERMITTE (F.)
{ CABROL (C.)	{ GRASSET (J.)
{ DEBEYRE (J.)	{ LE LORIER (G.)
{ OLIVIER (G.)	{ LEPAGE (F.)
Anatomie pathologique	Obstétrique
{ GAUTHIER-VILLARS	{ MERGER (R.)
{ (Mlle P.) <i>pr. s. ch.</i>	{ MORIN (P.)
{ BUSSET (F.)	{ RAVINA (J.)
{ GUYGOU (Ch.)	{ ROBEY (M.)
Bactériologie	Ophtalmologie
{ NÉVOT (A.) <i>pr. s. ch.</i>	{ BRÉGEAT (P.)
{ CHRISTOL (D.)	{ DESVIGNES (P.)
Biochimie	Orthopédie
{ ETTORI (J.) <i>pr. s. ch.</i>	{ JUDET (R.)
{ DESGREZ (P.)	Oto-rhino-
{ POLONOVSKI (J.)	laryngologie
{ SCHAPIRA (R.)	{ AUBRY (M.)
Biologie médicale	{ MADURO (R.)
{ BOURLIÈRE (F.)	Parasitologie
Dermato-	{ BRUMPT (L.-C.)
Syphiligraphie	{ CHABAUD (A.)
Embryologie	{ ABOULKER (P.)
{ TUCHMANN-DUPLESSIS (H.)	{ BARCAT (J.)
{ COUJARD (R.)	{ BAUMANN (J.)
Histologie	{ CAUCHOIX (J.)
{ N...	{ DUBOST (C.)
{ N...	{ FAUREL (J.)
Hydrologie	Pathologie chirurgicale
{ CORNET (A.)	{ FLABEAU (F.)
Hygiène	{ GERMAIN (A.)
{ BOYER (J.) <i>pr. s. ch.</i>	{ GOSSET (J.)
{ DEPARIS (M.) <i>pr. s. ch.</i>	{ LAURENCE (G.)
Maladies infectieuses	{ LORTAT-JACOB (J.)
{ BASTIN (R.)	{ MATHEY (J.)
Médecine légale	{ OLIVIER (Cl.)
{ DEROBERT (L.) <i>pr. s. ch.</i>	{ POILLEUX (F.)
{ GAULTIER (M.)	{ THOMERET (G.)
{ HADENGUE (A.)	{ VERNE (J.-M.)
Médecine du travail	Pathologie expérimentale
{ ALBAHARY (C.)	{ LOEPER (J.)
Neuro-chirurgie	{ MAURICE (P.)
{ DAVID (M.)	

	MM.		MM.
Pathologie médicale	BOUDIN (G.)	Pharmacologie . .	CHEYMOL (J.) <i>pr. s. ch.</i>
	BOUVIER (J.-B.)		LEVY (Mlle J.) <i>pr. s. ch.</i>
	BRICAIRE (H.)	Physiologie . . .	BARJETON (D.) <i>pr. s. ch.</i>
	BRISSAUD (H.)		PARROT (J.) <i>pr. s. ch.</i>
	CASTAIGNE (P.)		DEJOURS (P.)
	CONTE (M.)	Physique médicale	DJOURNO (A.) <i>pr. s. ch.</i>
	DEROT (M.)		GOUGEROT (L.)
	DOMART (A.)	Pneumo- Phtisiologie . .	KREIS (B.)
	LAMOTTE (M.)		PICHOT (P.)
	LAROCHE (C.-P.)	Psychiatrie . . .	Psychiatrie infantile
	MACREZ (Cl.)	Psychiatrie infantile	MICHAUX (L.)
	MILLIEZ (P.)		Rhumatologie . .
	PÉQUIGNOT (H.)	Stomatologie . .	CERNÉA (P.)
	PERRAULT (M.)		CHAPUT (Mme A.)
	RAMBERT (P.)	Thérapeutique .	CHASSAGNE (P.)
	ROYER (P.)		Urologie
	THIEFFRY (St.)		KUSS (R.)
	TURIAF (J.)		
	WOLFROMM (R.)		
	N...		
Pédiatrie	JOSEPH (R.)		
	MOZZICONACCI (P.)		
	POLONOVSKY (Cl.)		

III. — PROFESSEURS SANS CHAIRE ET AGREGES CHARGES DE COURS DE CLINIQUE ANNEXE

A TITRE PERMANENT

	MM.		MM.
Clinique chirurgicale . .	AMELINE (A.)	Clinique obstétricale . . .	MAYER (M.)
	HUGUIER (J.)		
	LÉGER (L.)	Clinique ophtalmologique	OFFRET (G.)
	PADOVANI (P.)		
Clinique médicale	ROUX (M.)	Clinique pédiatrique . . .	LAPLANE (R.)
	DREYFUS (Gilbert)		
	HAGUENAU (J.) <i>pr. s. ch.</i>	Clinique psychiatrique . .	BARUK (H.)
	KOURILSKY (R.)		
Clinique neurologique . .	MARCHAL (G.)		
	DE SÈZE (S.)		

Secrétaire général de la Faculté	M. MOREL (J.)
Secrétaire	Mlle CHAINTREUIL (G.)

Conservateur, chargé de la direction	M. le Docteur HAHN (A.)
Conservateur	Mlle GOICHON (A.)
Bibliothécaires	Mlles DUMAITRE (P.), LAURENT (H.), LE NOIR (G.), QUIÉVREUX (E.)

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A MES PARENTS

En témoignage de ma profonde affection.

A TOUS LES MIENS

A TOUS MES AMIS

A TOUS MES CAMARADES
DE L'ÉCOLE DU SERVICE DE SANTÉ MILITAIRE

A MONSIEUR LE PROFESSEUR CHAILLEY-BERT

Professeur de Biologie Appliquée à l'Education Physique et aux Sports
de la Faculté de Médecine de Paris

Officier de la Légion d'Honneur

*Qui nous a fait le très grand honneur
d'accepter la présidence de cette thèse.*

A NOS JUGES

A MONSIEUR LE MÉDECIN GÉNÉRAL GRANDPIERRE

Professeur de Physiologie à la Faculté de Médecine de Nancy
Directeur du Centre d'Enseignement et de Recherches de Médecine Aéronautique
Chevalier de la Légion d'Honneur

*Il nous a inspiré le sujet de cette thèse
et nous a guidé dans son élaboration.*

*Il nous a toujours accueilli avec bien-
veillance et nous a prodigué les fruits de
sa grande expérience de la physiologie.*

*Qu'il veuille bien trouver ici l'expression
de notre reconnaissance et de notre profond
respect.*

A MONSIEUR LE MÉDECIN LIEUTENANT-COLONEL TABUSSE

Professeur Agrégé de Médecine Aéronautique
Médecin des Hôpitaux Militaires
Chevalier de la Légion d'Honneur

*En remerciement de son bienveillant appui
et de l'aide efficace qu'il n'a cessé de nous
prodiguer au cours de ce travail.*

A MONSIEUR LE MÉDECIN COLONEL HENRION

Professeur d'Hygiène au Val-de-Grâce
Sous-Directeur de l'Ecole d'Application du Val-de-Grâce
Officier de la Légion d'Honneur

*En témoignage de notre gratitude pour
la bienveillance qu'il nous a témoignée.
Hommages respectueux.*

A MONSIEUR LE MÉDECIN COMMANDANT BERNARD

Professeur Agrégé du Val-de-Grâce
Chef du Service de Deuxième Médecine

*Qu'il veuille bien agréer ici l'expression
de notre gratitude pour l'accueil qu'il nous
a réservé dans son service.*

AUX MÉDECINS ET AU PERSONNEL
DES SERVICES DE DEUXIÈME MÉDECINE
ET D'UROLOGIE DU VAL-DE-GRACE

A NOS MAÎTRES
DES HOPITAUX MILITAIRES DE PARIS ET DE LYON
ET A TOUS CEUX QUI EN TOUS LIEUX
NOUS ONT PRODIGUÉ LEUR ENSEIGNEMENT

Avant-propos

Nous sommes heureux, avant de présenter ce travail inaugural, de pouvoir exprimer notre reconnaissance à tous ceux qui nous ont dirigé dans son élaboration et à tous ceux qui ont pris part à sa réalisation.

Nos remerciements iront tout d'abord à M. le Professeur GRAND-PIERRE. Il nous a confié l'idée de cette thèse et sa haute autorité en matière de physiologie respiratoire a profondément influencé toutes nos recherches. Il nous a fait bénéficier de la parfaite organisation des services du Centre d'Etudes et de Recherche de Médecine Aéronautique dont il est le médecin-chef, et nous a permis de mener à bien ces travaux.

Le Médecin Lieutenant-Colonel TABUSSE n'a cessé de surveiller notre expérimentation et nous a guidé efficacement. Ses avis précieux nous ont permis d'élaborer cette étude. Nous lui exprimons, ici, nos respectueux sentiments de très vive gratitude.

Nos remerciements vont aussi à M. le Pharmacien Colonel DAGORN, chef du Service de Documentation, qui a toujours facilité nos recherches.

Nous sommes heureux de remercier également tous les camarades de l'Ecole du Service de Santé, ainsi que tous les officiers et sous-officiers d'aviation qui ont bien voulu se prêter à nos expériences ; sans eux, cette étude n'aurait pas été possible.

Tous les collaborateurs du Centre d'Etudes et de Recherches de Médecine Aéronautique nous ont apporté à tous les instants leur aide amicale ; nous n'oublions pas, en particulier, d'exprimer notre sincère reconnaissance à Mesdames ESTIENNE et COHEN, et à Mlle FARMER, dont nous avons pu apprécier la parfaite compétence. Enfin nous remercions cordialement le Médecin auxiliaire Raymond MAINARD qui nous a directement secondé dans notre expérimentation.

Introduction

L'aptitude à l'effort physique est à la fois une qualité du corps et de l'esprit. Cette idée est admise depuis longtemps peut-être depuis l'effort fatal du coureur de Marathon. Tout au long de l'histoire, cette qualité a été évaluée d'une façon empirique et généralement l'aptitude à l'effort d'un individu était jugée à *posteriori*, lorsqu'il avait fait ses preuves. Les tentatives de présélections n'ont pas attendu notre siècle pour apparaître : nous n'en voulons pour exemple que les épreuves auxquelles un chevalier du Moyen-Age était soumis avant d'être armé. Mais ce fut le XX^e siècle qui inventa les épreuves d'explorations fonctionnelles à l'effort.

L'évolution des techniques, et la complexité sans cesse croissante des machines qui leur étaient confiées ont amené les hommes de notre époque à se poser sérieusement les problèmes de la présélection des individus, que ce soit dans le domaine des sports, de l'industrie ou de l'armée, l'intérêt de déterminer avec un maximum de précision l'aptitude d'un individu à une tâche donnée s'est révélée primordiale.

Le mythe des « cœurs forcés » a tout d'abord conduit les médecins du début du siècle à se pencher sur l'étude des épreuves cardio-vasculaires. De nombreux chercheurs ont attaché leur nom à ces épreuves (LIAN, MARTINET, RUFFIER, SCHNEIDER, FLACK). Depuis, ces épreuves se sont multipliées, elles ont été tour à tour critiquées, modifiées ; certains ont voulu leur enlever toute valeur alors que d'autres leur attachaient une importance exagérée. Le contre-sens fait à propos de ces épreuves a été de ne pas toujours considérer leur but précis et leurs limites.

C'est ainsi qu'avec CHAILLEY-BERT nous pensons que : « L'erreur quand on discute d'épreuves cardiaques fonctionnelles est de ne pas dire ce que l'on recherche en employant telle ou telle épreuve. Si l'on veut connaître la « forme » d'un athlète, ou son état d'entraînement, l'épreuve de *Pachon-Martinet* est excellente et le *step-test* ne vaut rien. Au contraire, si l'on veut sélectionner les hommes d'un commando, le *Pachon-Martinet* ne sert à rien et le *step-test* doit être employé. Il n'y a pas d'épreuves cardiaques fonctionnelles passe-partout ».

C'est dans le but de trouver des épreuves adaptées au genre de sélection que l'on recherche dans l'armée que, à côté des classiques épreuves fonctionnelles (Lian, Pachon-Martinet, etc.), de nouvelles épreuves ont vu le jour lors de la seconde guerre mondiale : step-test, two step-test et, d'une façon générale, toutes épreuves amenant le sujet à la limite de ses possibilités physiologiques.

Ainsi sommes-nous amené à considérer, avec GRANDPIERRE et MERKLEN, qu'il existe deux sortes d'épreuves ; d'une part, les épreuves demandant un effort physique peu intense ; on pourrait les appeler « Epreuves de stabilité végétative à l'effort », et, d'autre part, les tests requérant un effort maximum qui sont les véritables « épreuves d'aptitude à l'effort ».

Il n'en restait pas moins que dans presque tous les cas seul le cœur était interrogé et sa réponse était interprétée d'après ses variations rythmiques, ce qui, bien qu'important, n'est pas suffisant. En effet, si le « Fatigue Laboratory of Harward » a démontré que le rythme cardiaque était directement proportionnel au taux d'acide lactique dans le sang, et, par là même, traduisait la réaction de l'organisme à l'effort, ce rythme cardiaque peut être influencé par d'autres facteurs, notamment par l'équilibre neuro-végétatif du sujet, ce qui peut être une cause d'erreur. D'autre part, avec MARGARIA et l'Ecole Italienne, on peut considérer que l'organisme en travail peut être comparé à un moteur dont on pouvait déterminer les caractéristiques en étudiant la consommation d'oxygène, ainsi l'accent était-il mis sur l'importance de la respiration. MARGARIA proposa donc des tests d'étude de la respiration à l'effort, mais laissait de côté les épreuves cardiaques.

Aussi, dans le but d'obtenir une épreuve aussi complète et exhaustive que possible, est-on amené à envisager une nouvelle épreuve de sélection, destinée au recrutement des aviateurs et autres militaires appelés en temps de guerre à être soumis à des conditions peu physiologiques (parachutistes, combattants amphibis, commandos du désert ou du pôle).

C'est pourquoi à Milan, en décembre 1954, au « PANEL aéronauticol » de l'AGAR, la sous-commission aux problèmes cardio-vasculaires a proposé l'étude d'une épreuve d'aptitude à l'effort, dérivée du step-test et complétée par une épreuve respiratoire.

Le Médecin Général GRANDPIERRE s'est chargé de faire étudier en France les possibilités d'une telle épreuve. Il nous en a confié l'expérimentation et ainsi fourni l'objet de cette thèse. L'utilisation d'un escabeau pour la pratique de cette épreuve nous a conduit à la désigner sous le vocable « d'épreuve de l'Escabeau » ce qui peut en outre la différencier du step-test dont elle est inspirée.

* *

Nous nous proposons donc dans cet ouvrage, après avoir passé en revue les principales épreuves cardio-vasculaires et respiratoires et rappelé brièvement les données physiologiques relatives à l'effort, de bâtir un protocole expérimental, d'étudier statistiquement les résultats de notre expérimentation, de critiquer les principaux critères envisagés, de retenir ceux qui nous semblent les plus démonstratifs et de proposer un indice permettant la classification des individus à sélectionner.

Les principaux tests cardio-vasculaires et respiratoires employés dans la sélection médico-sportive

— L'étonnement des médecins du début de ce siècle fut grand quand leur fut révélée l'ampleur des réactions cardiaques à l'effort. Il leur paraissait extraordinaire qu'un organe réputé fragile puisse supporter des efforts aussi extraordinaires qu'un rythme à 200 et plus, qu'une tension artérielle faisant des bonds de 8 à 10 cm de mercure, qu'une augmentation considérable de son volume, sans perdre de son efficacité.

Le retour au calme dans un temps relativement court, sans dégât, les déconcertait. De pareilles performances leur semblant difficilement compatibles avec les possibilités physiologiques d'un cœur non entraîné, il naquit l'idée d'ajouter à l'examen médical statique un examen dynamique : l'épreuve d'effort permettant de dispenser de travaux ou d'exercices pénibles les sujets dont l'appareil cardio-vasculaire ne pouvait faire les frais d'une adaptation rythmique et tensionnelle suffisante.

— Les modifications non moins importantes que l'effort provoque dans la sphère respiratoire, ont également amenés certains auteurs (COPPÉE, GRANDPIERRE, MARGARIA, CHRISTENSEN) à envisager l'examen dynamique de cette fonction. Les épreuves proposées dans ce domaine sont moins classiquement pratiquées que celles du domaine cardio-vasculaire. Cela s'explique peut-être par le fait que le critère à retenir pour juger de la respiration n'a pas encore fait l'unanimité.

— Depuis ces quarante dernières années, les épreuves d'effort se sont multipliées et compliquées : elles ont été modifiées et critiquées. Leur nombre montre que le problème de l'aptitude à l'effort n'est pas résolu. Les tests proposés ont chacun apporté un élément de la solution, elle ne peut être envisagée que par une synthèse aussi complète que possible de ces différentes épreuves.

LES EPREUVES CARDIO-VASCULAIRES

L'EPREUVE DE LIAN

Elle a été décrite et codifiée dès 1916 ; le sujet doit effectuer une course sur place, au pas de gymnastique, en fléchissant les jambes à angle droit sur les cuisses. Le rythme de la course est réglé à deux pas par seconde.

A la fin de l'épreuve, le pouls radial est noté pendant 15 secondes toutes les minutes jusqu'à retour à la normale ou stabilisation. Il importe que le sujet reste debout pendant toute cette période et que rien, notamment aucune conversation, ne vienne troubler les résultats.

Le sujet est jugé :

- *excellent* : si le retour à la normale se fait dans la première minute ;
- *normal* : si le retour au calme se fait en deux ou trois minutes ;
- *médiocre* : si le retour au calme se fait en quatre ou cinq minutes ;
- *mauvais* : si le retour à la normale se fait à la sixième minute et au delà, ou si le nombre de pulsations pendant le premier quart de minute atteint 35-40 et plus.

L'élément essentiel de cette épreuve est l'appréciation du temps du retour au calme. Toutefois, un pouls à 160 ou plus à la fin de l'effort place l'épreuve comme mauvaise : d'après l'auteur :

« Ce fait témoigne d'une grande instabilité cardiaque et semble indiquer que les efforts sérieux et trop prolongés provoquent une tachycardie trop marquée pour ne pas nuire au bon fonctionnement de l'appareil circulatoire ».

Quoique excellent, et de pratique facile et rapide (sa simplicité la rend réalisable par n'importe quel auxiliaire), nous lui faisons un reproche valable pour toutes les épreuves de ce genre : elle juge plus de la stabilité neuro-végétative à l'effort que de l'aptitude à l'effort ; d'autre part, nous estimons avec L. BROUHA que :

« Les réactions à un exercice modéré ne sont pas exactes, parce que, pour un travail trop facile, les différences entre un homme capable et un incapable sont bien négligeables ».

L'EPREUVE DE PACHON-MARTINET

Proposée également en 1916 par MARTINET, elle comportait alors 10 flexions. Elle fut reprise par la suite avec 20 flexions complètes des genoux.

Elle est basée sur :

- 1° Les variations circulatoires (pression maximum et minimum ; pouls), lors du passage de la position couchée à la position debout.
- 2° Les variations circulatoires après flexion sur les jambes.
- 3° La durée du retour à la normale des tensions maximum et minimum et du pouls.

Nous décrivons l'épreuve complète telle que MARTINET l'a proposée : Le pouls et la tension artérielle sont pris sur le sujet assis. Le brassard du tensiomètre restant en place, on demande au sujet d'effectuer 20 flexions profondes sur les chevilles et les genoux au rythme d'une flexion toutes les deux secondes. A la fin de l'exercice, on note aussi rapidement que possible puis toutes les 2 minutes le pouls et la tension jusqu'à retour au calme complet (4 à 6 minutes en moyenne).

CHAILLEY-BERT propose l'interprétation suivante :

- 1° Le passage de la position assise à la position debout, chez le sujet normal, provoque une élévation :
 - a) du pouls, de moins de 10 battements/minutes ;
 - b) de la maxima, de 2 à 3 cm de mercure environ ;
 - c) de la minima, de 1 cm de Hg.

L'état de fatigue d'un sujet se traduit par une plus grande élévation de tous les éléments ou une baisse de la maxima et de la minima : plus la tension différentielle diminue et plus la fatigue est importante.

- 2° Après les 10 (ou 20 flexions chez les athlètes), normalement :
 - a) la maxima augmente de 2 à 3 cm de Hg ;
 - b) la minima augmente de 1 à 2 cm de Hg ;
 - c) le pouls passe de 70-80 à 100-105.

Le retour au calme a lieu en 2 ou 3 minutes. Tout chiffre supérieur à ceux-ci indique une déficience.

Parfois les retours à la normale du pouls et de la tension artérielle ne sont pas synchronisés : CHAILLEY-BERT décrit alors 4 types de retour à la normale de la tension artérielle (*fig. 1*).

Ces courbes anormales de retour au calme traduisent :

- courbe 1 : défaillance légère ;
- courbe 2 : défaillance plus forte ;
- courbe 3 : défaillance très accentuée ;
- courbe 4 : défaillance plus considérable encore.

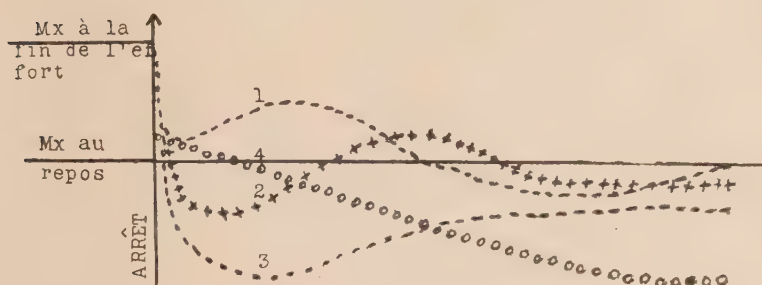


FIGURE 1. — Types de variation de la tension maxima dans les cinq minutes qui suivent l'épreuve Pachon-Martinet. La réaction normale : le retour progressif de la T.A. max. en fin d'épreuve à une T.A. max. égale à celle du repos n'est pas représentée

Cette épreuve relativement longue ne donne pas de résultat numérique et l'intégration des différents facteurs de son évaluation est délicate et discutée. Même dans sa réalisation pratique, les auteurs ne sont pas d'accord, certains proposant 10 flexions, d'autres 20, d'autres encore préférant remplacer les flexions par 10 ascensions d'une marche de 30 cm, certains enfin se contentant de l'interpréter comme une « Epreuve de Lian » où la course sur place serait remplacée par les flexions.

Si cete épreuve peut permettre à un examinateur entraîné d'avoir une idée de la forme physique d'un candidat, elle ne permet pas d'en juger quantitativement. C'est pourquoi certains auteurs (PLAS et BOURDINAUD), tout en gardant le même protocole d'exécution, préfèrent compléter cete épreuve par une étude électrocardiographique comparative avant et après l'effort.

Ils ont mis en évidence 4 types de réactions ECG selon le sens des variations des axes QRS et T, calculés avant et après l'épreuve (fig. 2).

Type I : déviation concordante des deux axes vers la droite, avec contraction de l'angle RT.

Ce type serait la variation physiologique à l'effort (verticalisation du cœur).

Type II : déviation concordante des deux axes vers la gauche, avec augmentation de l'angle RT.

Ce serait la réaction habituelle des cœurs vieillis avec légère hypertrophie ventriculaire gauche.

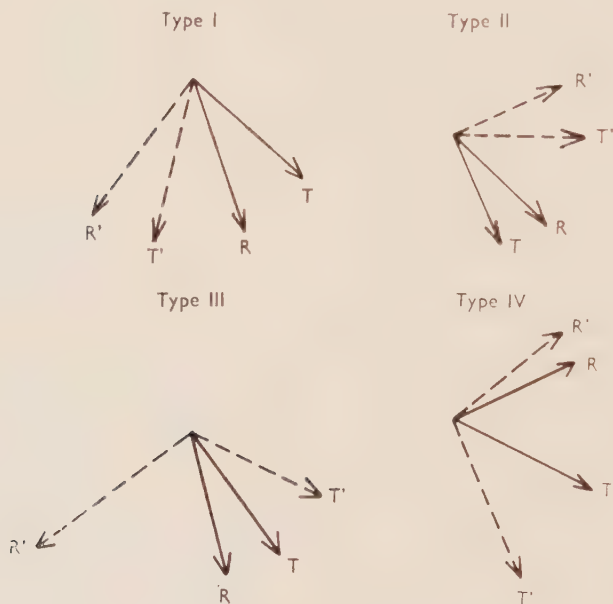


FIGURE 2
Les quatre types de variations des axes QRS et T
de PLAS et BOURDINAUD

Type III : déviation divergente de R vers la droite, de T vers la gauche, avec augmentation de l'angle RT.

Ce type se rencontrerait chez les mitraux, les pulmonaires chroniques et les surcharges ventriculaires droites. (Mais, il peut être également rencontré chez les sujets normaux car ce serait la réaction physiologique du cœur pendant l'effort : cette réaction persistant pendant un temps très court après l'effort).

Type IV : déviation divergente de R vers la gauche et de T vers la droite, avec augmentation de l'angle RT.

C'est là une réaction considérée comme nettement pathologique (surchargé ventriculaire gauche).

Nous voyons donc combien ce test a suscité d'avis, de critiques et de transformations. Il nous semble, réduit à l'épreuve du rythme, superposable à celui de LIAN, et par là même, appelle les mêmes critiques ; complet, les différents éléments s'intègrent mal, et seule l'interprétation qu'en donnent PLAS et BOURDINAUD nous semble valable et objective. Toutefois, vu l'effort minime que demande cete épreuve, on ne peut la considérer comme nettement discriminative pour sélectionner des militaires en vue d'une aptitude aux circonstances anti-physiologiques qu'imposent la guerre ou la conduite d'un avion supersonique, ce qui est notre but dans le présent ouvrage.

L'INDICE CARDIAQUE DE RUFFIER-DICKSON

Ce test n'est pas sans présenter des analogies assez nettes avec l'Epreuve de MARTINET ; mais le travail demandé est sensiblement plus important et le rythme de l'épreuve plus rapide : on exige du sujet 30 flexions complètes sur les chevilles en 45 secondes. Le pouls est compté avant l'épreuve (P) ; immédiatement après l'épreuve (P'), et après une minute de décubitus dorsal (P''). Il n'est donc pas directement tenu compte du temps de retour au rythme initial.

RUFFIER calculait son indice selon la formule :

$$\text{I.C.} = P' + P'' - 2 (70 - p)$$

soit donc :

$$\text{I.C.} = 2 (P - 70) + (P' - 70) + (P'' - 70)$$

il donnait le barème d'interprétation suivant :

— I.C. plus petit que 5	bon
— I.C. compris entre 5 et 10	moyen
— I.C. compris entre 10 et 15	faible
— I.C. supérieur à 15	mauvais

DICKSON a pensé que l'indice ainsi établi était par trop influencé par les tachycardies neuro-végétative, digestive, hyperémotive, etc... En appliquant cet indice, DICKSON trouvait que 40 % des individus étaient à surveiller du point de vue cardio-vasculaire. Pour atténuer la sévérité de cet indice, cet auteur a proposé d'envisager plutôt les facteurs : (P' - P) et (P'' - P) plutôt que (P' - 70) et (P'' - 70).

Donc, c'est l'accélération et sa décélération par rapport au pouls normal du sujet qu'il envisage, et non par rapport à la moyenne arbi-

trairement fixée à 70. Ce faisant, DICKSON pense tenir compte de l'équilibre neuro-végétatif propre à chaque sujet. Il a établi la formule suivante :

$$\frac{(P - 70) + (P' - P) + 2 (P'' - P)}{10}$$

soit :

$$\frac{P' + P'' - 2 P - 70}{10}$$

On juge les résultats comme suit :

- I.C. plus petit que 3 excellent
 - I.C. compris entre 3 et 6 bon
 - I.C. compris entre 6 et 8 faible
 - I.C. supérieur à 8 mauvais
- (l'indice ainsi modifié atteint rarement 10)

Cette épreuve présente quelques avantages sur les précédentes : l'effort demandé est plus intense et elle peut être exécutée en moins de trois minutes (une règlette permet d'intégrer rapidement P, P' et P'' pour obtenir sans calcul l'indice).

Nous considérons, avec HENRION, que pour faire un premier choix parmi un groupe d'individus, c'est la meilleure méthode et la plus rapide. Nous la retenons pour la sélection au premier degré, mais le but de notre travail est une sélection au second degré en vue de tâches difficiles et spécialisées. Aussi, nous recherchons une épreuve plus complète et plus discriminative.

L'ÉPREUVE DE SCHNEIDER

Sa réalisation est assez longue, mais elle est considérée par beaucoup d'auteurs comme très physiologique. L. MERKLEN en a donné une description précise.

Ce test est basé sur :

- 1° Le rythme du cœur en position couchée et debout.
- 2° L'accélération cardiaque lors du passage de la position couchée à la position debout.
- 3° L'accélération cardiaque après 5 ascensions d'une marche de 45 cm, en 15 secondes.
- 4° L'élévation ou la chute de la tension maxima lors du passage de la position couchée à la position debout.

TEST DE SCHNEIDER

A) — COUCHÉ		B — AUGMENTATION DU RYTHME DU POULS <i>par passage à la position debout</i>				
<i>Rythme du pouls</i>		0 à 10 battements	11 à 18 battements	19 à 26 battements	27 à 34 battements	35 à 42 battements
RYTHME	POINTS	POINTS	POINTS	POINTS	POINTS	POINTS
50-60	3	3	3	2	1	0
61-70	3	3	2	1	0	-1
71-80	2	3	2	0	-1	-2
81-90	1	2	1	-1	-2	-3
91-100	0	1	0	-2	-3	-3
100-110	-1	0	-1	-3	-3	-3

C) — DEBOUT		D) — AUGMENTATION DU RYTHME DU POULS <i>immédiatement après l'exercice</i>				
<i>Rythme du pouls</i>		0 à 10 battements	11 à 20 battements	21 à 30 battements	31 à 40 battements	41 à 50 battements
RYTHME	POINTS	POINTS	POINTS	POINTS	POINTS	POINTS
60-70	3	3	3	2	1	0
71-80	3	3	2	1	0	0
81-90	2	3	2	1	0	-1
91-100	1	2	1	0	-1	-2
101-110	1	1	0	-1	-2	-3
111-120	0	1	-1	-2	-3	-3
121-130	0	0	-2	-3	-3	-3
131-140	-1	0	-3	-3	-3	-3

E — RETOUR DU RYTHME DU POULS <i>à la valeur normale, debout après exercice</i>		F) — PRESSION MAXIMA : <i>Comparaison entre pression couché et pression debout</i>	
SECONDES	POINTS	CHANGEMENTS EN MILLIMÈTRES	POINTS
0-60	3	Élévation de 8 ou davantage	3
61-90	2	Élévation de 2 à 7	2
91-120	1	Pas d'élévation	1
Après 120 : 2 à 10 battements au-dessus de la normale	0	Chute de 2 à 5	0
11 à 30 battements au-dessus de la normale	1	Chute de 6 ou davantage	-1

TABLEAU D'INTERPRÉTATION DU TEST DE SCHNEIDER

SCHNEIDER a établi un système de points (de -3 à $+3$) pour évaluer chacune des réactions et base son jugement sur une note constituée par le total des chiffres ainsi obtenus.

La réalisation de ce test est la suivante :

- a) Le sujet garde la position couchée 5 minutes ; au bout de ce laps de temps, on détermine la fréquence cardiaque moyenne. Sa détermination donne une première évaluation (*tableau A*). La pression maxima est également mesurée.
- b) Le sujet se met debout ; après 2 minutes, on note son pouls et ceci donne une deuxième évaluation (*tableau C*).
- c) On calcule la différence entre les rythmes du pouls en position couchée et en position debout. On a une troisième évaluation (*tableau B*).
On mesure alors la pression maxima. La différence avec la pression maxima en position couchée donne une quatrième évaluation (*tableau F*).
- d) Le sujet effectue l'épreuve d'effort ; immédiatement après, le pouls est compté par périodes de 15 secondes pendant 2 minutes. On a ainsi les deux dernières évaluations en se rapportant aux *tableaux D* et *E*.

Résultats :

La note totale ($A + B + C + D + E + F$) peut varier entre -10 et $+18$. La moyenne, pour les sujets à système neuro-végétatif équilibré et adapté à l'effort, est, suivant les auteurs, de $+11$ à $+13$. Des chiffres supérieurs ou inférieurs témoignent d'une déficience physique, soit par manque d'entraînement, soit par déséquilibre vago-sympathique.

Le chiffre limite au-dessous duquel il faut considérer un sujet comme nettement déficient est :

- + 9 pour SCHNEIDER ;
- + 7 pour SCOTT ;
- + 10 pour ROUSSEL.

Cette épreuve, demandant une réalisation minutieuse, est le test type pour juger de la stabilité neuro-végétative à l'effort modéré. Mais, outre sa réalisation longue et délicate, l'effort demandé est trop faible et les remarques formulées à l'égard des épreuves précédentes restent valables.

D'une longue pratique, L. MERKLEN a d'ailleurs conclu que cette épreuve était extrêmement sensible à de multiples influences et qu'elle ne pouvait donner qu'une idée de la forme momentanée d'un sujet.

TEST DE FLACK (ou *Endurance-Test* ou *Test d'apnée volontaire sous pression* ou *Test des 40 mm de Hg*)

C'est une épreuve qui tient compte dans une certaine mesure des synergies respiratoire et circulatoire. Son protocole d'exécution est bien codifié, mais les avis sur son interprétation sont très divergents.

De la série d'épreuves primitivement proposée en 1916 par FLACK, GUILLAUME a choisi d'étudier celle des 40 mm de mercure ; mais au lieu de ne considérer que la durée de l'épreuve, il s'est attaché en plus à étudier les modifications du pouls.

L. MERKLEN, R. GRANDPIERRE et L. GUILLAUME donnent de l'épreuve la description suivante :

« Le sujet assis effectue une expiration forcée, puis par une inspiration *lente et continue*, emplit ses poumons du maximum d'air possible. Ensuite, par expiration buccale, lente et soutenue, il souffle dans un manomètre à mercure, et maintient le plus longtemps possible dans celui-ci une différence de niveau de 40 mm.

« L'examineur a effectué une première numération du pouls avant le début du test. Dès que le mercure atteint les 40 mm, il met en marche un chronomètre et note le chiffre des pulsations pendant chaque période consécutive de cinq secondes. Le nombre de secondes écoulé depuis la mise en marche du chronomètre jusqu'à l'abandon du candidat, donne la durée de l'épreuve. Les chiffres correspondant au nombre de pulsations par période de cinq secondes sont inscrits sur un graphique où l'on porte :

— en abscisse : le temps par cinq secondes ;

— en ordonnée : le pouls par cinq secondes.

« Le premier chiffre porté sur cet axe est celui du pouls "assis", avant le test. »

L'ensemble des auteurs est d'accord pour admettre qu'une épreuve moyenne doit durer cinquante secondes ; au-dessous de cinquante secondes, le sujet peut être considéré sans trop de rigueur comme insuffisant.

D'après les travaux initiaux de GUILLAUME, pour une épreuve supérieure à cinquante secondes, les résultats s'interprétaient ainsi :

Type I : allure plate de la courbe sans élévation supérieure à 7 pulsations par période de cinq secondes ;
aptitude fonctionnelle élevée et haut degré d'endurance.

Type II : élévation graduelle jusqu'à 9 pulsations sans jamais les dépasser ;
aptitude moyenne améliorable par l'entraînement.

Type III : élévation rapide jusqu'à 10 pulsations ou plus :
sujet hors de forme (cause à déceler à l'examen médical).

Type IV : élévation identique à la précédente, suivie d'une chute rapide pour atteindre des valeurs inférieures à celle du repos :
sujet surmené, rarement améliorable.

L'étude de l'électrocardiogramme, au cours de cette épreuve, a apporté des éléments nouveaux qui, s'ils sont généralement admis, ne sont pas encore entrés dans la pratique courante.

Cette épreuve est certainement appelée à prendre un grand développement en France dans les milieux de physiologie aéronautiques : ses résultats n'ont pu encore, néanmoins, être parfaitement jugés faute de recul suffisant, puisque son application en médecine aéronautique est récente.

LE STEP-TEST

Cette épreuve, due surtout à L. BROUHA, à Harvard, a été contrôlée, en pays anglo-saxons, depuis 1941 sur un grand nombre de sujets. En 1947, R. GRANDPIERRE la propose en France, et dès la fin de 1948 EVRARD l'introduit dans les épreuves réglementaires de recrutement de la force aérienne belge.

Ce test présente l'avantage d'être une épreuve difficile tout en exigeant sur le plan technique un minimum de matériel :

- 1) un banc de 20 pouces de haut (50 cm) ;
- 2) un chronomètre compte-secondes.

L'épreuve se déroule de la façon suivante :

« Le sujet à examiner est placé dans la position de garde-à-vous devant la marche ; l'examineur se tient derrière lui. Au signal « 1 », le sujet place un pied sur la marche, s'élève pour y placer le second pied, se redresse complètement et redescend immédiatement. Chaque déplacement du pied est scandé par l'examineur « 1 », « 2 », « 3 », « 4 », le commandement « 1 » se répétant toutes les deux secondes ; l'épreuve doit se poursuivre cinq minutes. « Si le sujet fatigué s'arrête avant ce temps, on enregistre la durée de l'exercice.

« L'examineur, qui commence à compter le temps d'exercice dès le premier commandement, doit s'assurer que le sujet se tient complètement debout sur la marche, jambes tendues immédiatement après le commandement « 2 » et que la cadence est bien respectée. Il arrête l'épreuve si le sujet prend un retard de plus de dix secondes sur le commandement.

« Après les cinq minutes d'exercice, le sujet s'arrête et s'assoit aussitôt. L'examineur note le nombre de pulsations cardiaques au cours des temps suivants comptés à partir de l'arrêt de l'exercice :

- 1 minute à 1 minute 1/2 (P)
- 2 minutes à 2 minutes 1/2 (P')
- 3 minutes à 3 minutes 1/2 (P'')

... ..

« On détermine le coefficient d'aptitude en divisant le nombre multiplié par 100, exprimant la durée en secondes de l'exercice par le double du nombre total de pulsations comptées pendant les trois périodes indiquées. » (GRANDPIERRE.)

On obtient ainsi la formule :

$$I = \frac{D \times 100}{2 (P + P' + P'')}$$

I = indice du step-test

D = durée de l'exercice en secondes

Il existe des tableaux donnant directement l'indice, compte tenu des pulsations comptées (*P* + *P'* + *P''*) sans avoir à appliquer la formule, mais ceci à condition que l'épreuve ait duré cinq minutes. Ce tableau donne des coefficients allant de 150 (pour une somme de pulsations de 100) à 60 (pour une somme de pulsations de 250).

Dans le cas où l'exercice se termine prématurément, on applique une cotation arbitraire :

— moins de 2 minutes	25
— de 2 à 3 minutes	38
— de 3 à 3 minutes 1/2	48
— de 3 1/2 à 4 minutes	52
— de 4 à 4 minutes 1/2	55
— de 4 1/2 à 5 minutes	59

Dans l'armée américaine, où l'on cherchait d'excellentes réactions cardiaques à l'effort, on interprétait le résultat avec le barème suivant :

— C inférieur à 55	mauvais
— C compris entre 55 et 64	médiocre
— C compris entre 65 et 79	moyen
— C compris entre 80 et 89	bon
— C supérieur à 90	excellent

Ces normes proposées outre-Atlantique avaient semblé un peu élevées. Mais EVRARD les a retrouvées. Des résultats analogues sont obtenus en France à condition de s'adresser à des individus coopérants et bien entraînés : sportifs, pompiers, aviateurs.

Cette épreuve extrêmement pénible, qui pousse les sujets à la limite de leurs possibilités physiologiques, est excellente : elle met en évidence les différences d'adaptabilité à l'effort des sujets déficients et des sujets bien entraînés ; mais ne tenant compte que du rythme cardiaque et négligeant les réactions respiratoires, elle peut être considérée comme incomplète.

J. HENRION a critiqué cette épreuve qu'il juge trop difficile pour être applicable à l'ensemble de l'armée, et sous cette incidence, nous sommes d'accord avec lui. Mais comme test de sélection au deuxième degré, parmi des sujets considérés comme entraînés et capables d'effort, elle garde toute sa valeur.

* *

Si les épreuves décrites précédemment sont les plus classiques et les plus connues, elles ne représentent qu'une faible part de l'arsenal des tests physiologiques. Parmi les tests voisins de l'épreuve de SCHNEIDER et du step-test, nous citons encore sans les décrire, le two-step-test et le pack-test de HARWARD. Toutes ces épreuves demandent comme travail musculaire l'ascension d'une marche : le travail mécanique fourni est d'une part proportionnel au poids du sujet et dépend d'autre part de la hauteur du tabouret utilisé ; le travail est égal en kilogramme-mètre (pour la partie ascensionnelle de l'épreuve) au produit du poids du sujet en kilogramme par la hauteur de la marche en mètres ; mais le travail effectué en descendant ce même tabouret est plus difficile à évaluer : il représente approximativement le tiers du travail ascensionnel.

Si cette série d'épreuves offre l'inconvénient d'un travail mécanique qui ne peut être mesuré avec toute la précision mathématique que souhaiteraient certains auteurs, en revanche nous lui accordons l'avantage d'offrir à chaque sujet, un travail proportionné dans une certaine mesure à sa morphologie : au plus grand, au plus lourd, le travail le plus important ; au plus petit, le travail le plus léger... Ainsi peut-on considérer que ces tests s'adaptent d'eux-mêmes aux variations individuelles.

LES EPREUVES RESPIRATOIRES

Le reproche commun fait à toutes les épreuves cardio-vasculaires est, parmi bien des critiques plus ou moins justifiées, de n'être que cardio-vasculaires. Aussi de nombreux auteurs se sont-ils tournés vers des épreuves respiratoires, qu'ils considèrent comme plus représentatives des efforts d'adaptation de l'organisme à l'effort.

En 1951, notre Maître le Professeur GRANDPIERRE a publié une « Revue critique des principales méthodes d'exploration de la fonction respiratoire ». Il y décrit les épreuves classiquement employées et y souligne l'intérêt de l'étude de la ventilation pulmonaire au cours des dynamiques ; dans cette publication, ce sont surtout les bases physiologiques des épreuves qui sont étudiées et critiquées.

G. COPPÉE propose une suite assez complète d'épreuves, tant statiques que dynamiques, en leur reconnaissant des qualités très inégales.

L'Ecole italienne avec MARGARIA et LO MONACO, s'est plus spécialement orientée vers des épreuves respiratoires dynamiques. Assimilant dans une large proportion l'organisme humain à un moteur capable de fournir du travail à partir de ces réserves nutritives et d'un comburant : l'oxygène, ces auteurs se sont attachés à des épreuves où le travail mécanique calculé avec précision permettrait d'évaluer le rendement de ce moteur. Pour ce faire, ils ont délaissé le pas gymnastique, la course, les flexions des jambes, et même les épreuves d'ascension d'un degré, au profit d'épreuves employant une bicyclette ergométrique (cycloergomètre employé par LO MONACO) et l'ergomètre à courroie de transmission (tapis roulant, trademill) inclinable et à vitesse variable (MARGARIA). L'une de ces épreuves consiste à l'évaluation de la consommation d'oxygène par kg de poids de l'individu en fonction du travail donné ; d'autres épreuves s'intéressent à la ventilation et à ses rapports avec les autres activités respiratoires.

Les épreuves respiratoires proposées n'offrent en général aucun système pratique de cotation et ne permettent pas, comme les épreuves cardio-vasculaires, une classification numérique des individus. Elles sont moins objectives et la part laissée à la libre interprétation de l'examineur y est plus grande.

PRINCIPALES ÉPREUVES PROPOSÉES PAR G. COPPÉE

COPPÉE reconnaît aux épreuves avec enregistrement spirométrique des qualités de haute précision, mais leur reproche leur difficulté technique.

De toutes les épreuves proposées par cet auteur, nous n'en citerons que quelques-unes.

A) ÉPREUVES STATIQUES

- Mesure de la durée de l'apnée : sans donner d'indication formelle sur l'endurance physique d'un individu, elle permet de départager les sujets normaux des pathologiques.
- Etude des variations de la capacité vitale au repos et de son utilisation à l'effort.
- Mesure de l'air courant.
- Mesure des airs complémentaire et de réserve.
- Mesure du métabolisme de base.
- Mesure de la ventilation maximum (ATEMGRENZWERT) : le sujet ventile au maximum sans qu'aucun rythme ne lui soit imposé ; les sportifs ventileront 150 à 180 litres à la minute ; les sédentaires seulement 100 à 120 litres (COPPÉE).

B) ÉPREUVES DYNAMIQUES

L'effort demandé est de l'ordre de 140 watts (le travail est effectué avec une bicyclette ergométrique).

COPPÉE envisage successivement :

- Mesure de la consommation d'oxygène.
- Fréquence et débit respiratoire (la ventilation est la plus forte chez le sujet peu entraîné).
- Coefficient d'utilisation de l'oxygène (coefficient de COPPÉE), rapport de l'oxygène consommé exprimé en cm^3 sur la ventilation exprimée en litre. Ce coefficient serait de 40 chez les sujets entraînés, de 30 à 40 chez les sujets moins bien entraînés, de 25 à 30 chez les sédentaires. L'auteur belge accorde une grande importance à ce rapport qui rendrait compte de toutes les synergies qu'implique l'effort : fonction pulmonaire, circulation, mécanisme de régulations, valeur globulaire, etc.

Pour E. JEQUIER-DOGE :

« Ce coefficient d'utilisation de l'oxygène ne dépend pas seulement de la fonction pulmonaire, mais surtout de la circulation, des mécanismes de régulation périphérique, de la densité des réseaux capillaires au niveau des muscles, de la richesse de ceux-ci en pigment respiratoire, etc., en définitive, de la rapidité avec laquelle les échanges nutritifs tissulaires s'adaptent aux nouvelles conditions créées par le travail. Il existe une relation étroite entre ce coefficient et l'importance de la dette d'oxygène. Plus cette dette d'oxygène est faible, meilleure est l'utilisation de l'oxygène au niveau des poumons. »

Néanmoins, COPPÉE note que des sujets bien entraînés ont un coefficient d'utilisation faible ; ils accomplissent leur effort mais d'une façon peu économique. Cette idée est discutée par BROUHA qui prétend le contraire.

- Temps de respiration : mesure du temps de retour à la normale de la respiration :
 - 1 à 1,5 minute : sujet bien entraîné ;
 - 2 à 2,5 minutes : sujet moyen ;
 - plus de 4 minutes : sédentaire bien portant ;ce temps serait proportionnel à la dette d'oxygène.
- Dette d'oxygène : mesure délicate dont la mesure se confond avec la précédente.
- Enfin, une dernière épreuve porte sur la respiration d'un air enrichi en oxygène au cours de l'épreuve d'effort : l'augmentation brutale de la teneur en oxygène du gaz inspiré provoque d'abord une augmentation de la consommation puis une diminution, mais la consommation se stabilise alors à un niveau supérieur à sa valeur initiale et inférieur à sa valeur maximum. JEQUIER-DOGE pense que le sujet paye immédiatement sa dette d'oxygène et que celle-ci ne se reproduit plus...

Passant en revue toutes les épreuves tant vasculaires que respiratoires, G. COPPÉE conclut que toutes ces mesures ne sont utiles que dans des cas cliniques particuliers. Mais il pense que dans le domaine de la sélection, toutes les mesures spirométriques qui résumeraient toutes les autres présenteraient de la valeur. Nous basant sur ces conclusions, c'est à la méthode spirométrique que nous avons fait appel pour conduire l'exploration fonctionnelle respiratoire au cours de notre expérimentation.

EPREUVE DE MARGARIA

En 1954, MARGARIA et ses collaborateurs proposait d'étudier : la fréquence respiratoire en fonction de la ventilation pulmonaire comme

critère d'exploration fonctionnelle de l'appareil respiratoire. L'expérimentation a été effectuée à l'aide d'un tapis roulant, exigeant du sujet un travail progressif facilement mesurable.

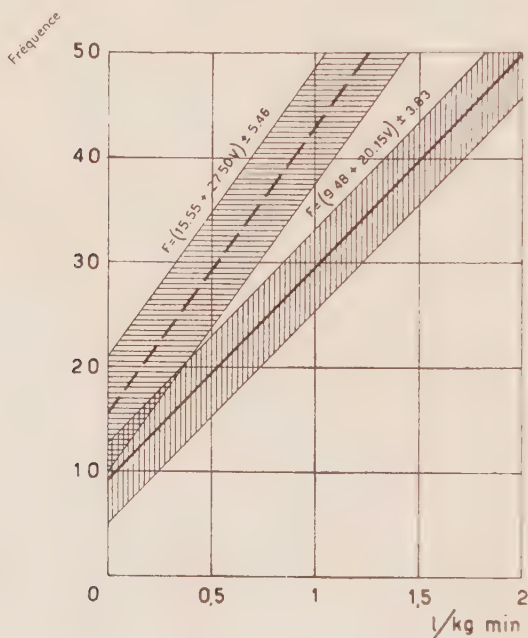


FIGURE 3

La fréquence pulmonaire en fonction de la ventilation pulmonaire exprimée en litres/kilogramme/minute (d'après MARGARIA)

- La droite en trait continu représente les valeurs normales
- La droite en pointillé, les valeurs des sujets malades
- Les surfaces grisées sont les zones de dispersion de chaque groupe (déviatiou ± 6)

MARGARIA individualise ainsi une fonction linéaire (du type $= ax + b$) qui relie la fréquence (F) à la ventilation pulmonaire par kg de poids du sujet (V). (Il a ainsi l'équation $F = aV + b$.) La valeur des paramètres a et b est différente selon que l'on s'adresse à des sujets sains ou diminués physiquement. Il obtient deux droites (figurées sur la fig. 3) et leur zone de dispersion. Selon que l'individu testé se situe dans l'une ou l'autre de ces deux zones, il sera considéré comme bon ou mauvais.

« PROVA DELLO SCALINO »

En 1955, LO MONACO et ses collaborateurs, ROSSANIGO et TAGLIAMONTE ont proposé une étude de la respiration pendant le step-test. Leur étude est centrée sur les valeurs de la ventilation et de la consommation d'oxygène. Les courbes obtenues par ces auteurs sont paraboliques et ne présentent pas à leur avis de plateaux suffisamment nets pour qu'ils estiment que le « steady-state » soit atteint ; aussi, ils proposent une variante de l'épreuve avec un escabeau de 30 cm et un temps porté à dix minutes. Cette épreuve ne serait pas plus difficile que le step-test et permettrait d'individualiser nettement les valeurs de la ventilation et de la consommation pendant le « steady-step » (cet état d'équilibre étant atteint pendant les cinq à six dernières minutes de l'épreuve).

Au cours de leur étude sur le step-test, les valeurs numériques trouvées pour la respiration sont sensiblement égales à nos résultats. Nous y reviendrons après exposition de notre travail.

* *

Nous avons vu que, délaissant le tapis roulant, jugé précis mais par trop onéreux pour permettre une mise en pratique de ses épreuves, l'Ecole italienne est revenue aux tests avec escabau, et que les critères proposés *in fine* sont classiques et de recherche aisée. C'est dans ce sens que nous avons orienté notre expérimentation.

CHAPITRE II

Bases physiologiques de l'épreuve de l'escabeau

LES REACTIONS CARDIO-VASCULAIRES ET RESPIRATOIRES A L'EFFORT

Les besoins énergétiques et nutritifs créés par la consommation musculaire entraînent les réactions circulatoires et respiratoires nouvelles. Chez l'être vivant en fonction dynamique, c'est l'ensemble hëmo-cardio-respiratoire qui doit être envisagé. Il n'est point dans notre intention de rappeler toute la physiologie des réactions de l'organisme à l'effort, mais nous voulons simplement énoncer quelques éléments, résumés des ouvrages spécialisés comme ceux de CHAILLEY-BERT, qui permettront de comprendre les bases physiologiques de l'épreuve que nous décrirons ensuite.

A. — APPAREIL CARDIO-VASCULAIRE

La vaso-dilatation locale active qui se produit au niveau des groupes musculaires en action, n'est rendu efficace que par une augmentation du débit systolique. Il en résulte un ravitaillement beaucoup plus considérable en oxygène et une élimination beaucoup plus rapide des déchets du métabolisme musculaire, notamment l'anhydride carbonique.

MODIFICATIONS DU RYTHME CARDIAQUE

Chez l'individu normal, la fréquence cardiaque est de 70 à 80 à la minute. Chez le sujet entraîné, ce rythme peut se situer à 55-60.

A l'effort, la fréquence cardiaque s'accroît d'une façon considérable : 120, 150, 180, 200 et parfois plus, sans jamais dépasser 250. Pour un travail déterminé, l'accélération du pouls est plus grande chez les sujets peu entraînés que chez les sujets habitués à l'effort. Le pourcentage d'accélération relative est plus important à considérer que l'accélération absolue. Ainsi, par exemple, le pouls d'un sujet non entraîné battant au repos à 80, passera à 170 pour un travail donné, soit une accélération de 113 % ; un athlète, dont le pouls bat à 60, atteindra pour le même exercice 140 pulsations, soit une accélération de 130 %. C'est la diminution de cette accélération relative au cours de la répétition d'un même effort qui donnera une idée de l'état d'entraînement du sujet.

L'intensité du travail agit sur la forme de variation du rythme cardiaque. Pour un travail modéré, le pouls passe brusquement pendant la première minute à son régime maximum ; il diminue légèrement au cours de la deuxième minute, et se maintient en plateau pendant toute la durée de l'effort, pour diminuer progressivement après celle-ci ; pour un travail important (mais uniforme), le pouls s'accélère progressivement pendant les premières minutes et se stabilise ensuite sous la forme d'un plateau de travail (c'est ce qui se passe au cours du step-test) ; si le travail est épuisant, le pouls s'accélère progressivement et continuellement pendant toute la durée de l'exercice, jusqu'au moment où le sujet exténué est obligé de s'arrêter.

Ce critère est l'un des plus souvent considérés par les auteurs, mais seul, il est insuffisant, car il traduit en même temps les réactions du cœur à l'effort, le degré de stabilité neuro-végétative du sujet.

MODIFICATIONS DU DEBIT CARDIAQUE

Il faut considérer d'une part le volume de l'ondée systolique et d'autre part le débit par minute, c'est-à-dire le produit de la fréquence/minute par le volume de l'ondée systolique.

Le débit systolique au repos, chez l'adulte non entraîné, est de l'ordre de 55 à 60 cm³ ; sous l'influence du travail musculaire, il peut atteindre 100 à 120 cm³. Chez l'individu entraîné, ce volume systolique, déjà assez considérable au repos (70-75 cm³), peut augmenter dans des proportions importantes : 170 à 200 cm³.

Le débit par minute est en moyenne chez le sujet non entraîné de l'ordre de 4 litres (2,5 l par mètre carré de surface corporelle) ; à l'effort, ce débit peut atteindre 15 litres. Chez le sujet entraîné, les débits/minute sont respectivement de l'ordre de 4,5 l au repos et 25 à 35 l à l'effort.

Il y a une différence fondamentale dans les moyens employés par ces deux catégories de sujets pour augmenter leur débit. Chez l'un, le sportif entraîné, c'est surtout en augmentant le volume de l'ondée systolique que le débit cardiaque/minute augmente. Chez l'autre, non entraîné, c'est par une augmentation de la fréquence que se fait principalement cette augmentation. L'étude des débits cardiaques, très intéressante sur le plan théorique, est impossible à réaliser dans la pratique courante : ces mesures sont très longues et très délicates à réaliser et ne peuvent être pratiquées qu'en laboratoire spécialisé.

RYTHMES CRITIQUES

A ce sujet, il y a lieu de s'arrêter à la notion de rythme critique ; si une accélération du rythme cardiaque provoque une augmentation du débit, elle ne le fait que jusqu'à une certaine limite ; à partir d'une fréquence de 160 à 170, le débit n'augmente plus mais tend à diminuer, cette ébauche de diminution du débit peut parfois se rencontrer dès que le rythme atteint 140-150 : cela s'explique par le fait qu'à ces fréquences élevées, la réplétion auriculaire n'a pas le temps de s'effectuer complètement.

MECANISME DE L'ACCELERATION CARDIAQUE

L'accélération cardiaque à l'effort est immédiate. Les centres psycho-moteurs excitent les centres cardiaques dès que l'ordre de l'effort est donné. Il y a d'abord dépression du centre cardio-inhibiteur, puis augmentation du tonus du centre cardio-accelérateur. Dans le même temps, sont déclenchés les mécanismes adrénalino-sécréteurs, accélérateurs. Pendant toute la durée de l'épreuve, l'action centrale persiste, bien que l'action psycho-motrice initiale soit relayée par des centres automatiques sous-jacents : la libération dans le courant sanguin de divers métabolites, notamment CO_2 et adrénaline, par leur action directe sur le cœur et surtout sur les zones vasculaires chimiosensibles, concourent à maintenir l'accélération rythmique.

A la fin de l'effort, le retour au calme se fait par action intercentrale inverse, tandis que les métabolites dont la production a brusquement diminué, n'entretiennent plus l'accélération, enfin un ralentissement général de la circulation se produit, par l'ouverture du shunt abdominal : à la vaso-constriction viscérale de l'effort succède une vaso-dilatation généralisée. Ainsi progressivement, tout rentre dans l'ordre. Ces idées sont exposées en détail dans la Thèse de L. MERKLEN (Nanc'y, 1926).

MODIFICATIONS DES BRUITS DU CŒUR

Pendant l'effort et après l'effort, les bruits du cœur sont plus vibrants. En outre, on peut constater :

- des souffles systoliques, nettement organiques : ce ne sont pas des souffles au sens habituel du terme, il s'agit du bruit de passage du sang à travers les sigmoïdes de l'aorte, bruit inaudible au repos dans les conditions normales d'activité cardiaque ;
- un dédoublement du second bruit : sous l'influence de l'essoufflement, l'équilibre hydraulique étant légèrement rompu dans la circulation pulmonaire, il se produirait un asynchronisme dans la fermeture des valvules ;
- un roulement diastolique : vraisemblablement dû au passage d'un flot auriculaire anormalement important dû à l'augmentation du débit cardiaque.

En somme, il s'agit d'une accentuation des bruits normaux.

MODIFICATIONS ELECTROCARDIOGRAPHIQUES

Elles sont relativement peu marquées, si l'on excepte les variations d'axes électriques plus haut exposées au sujet des travaux de PLAS et BOURDINAUD après épreuve de MARTINET.

Quelques modifications peuvent exister chez le sportif bien entraîné : amplitude faible de P dans les trois dérivations standard — allongement de PQ en rapport avec la bradycardie — parfois signe de prépondérance droite ou gauche en rapport avec l'hypertrophie du cœur — parfois décalage de ST de même sens que l'onde T, souvent de très grande amplitude. Ces modifications n'ont aucun caractère pathologique, tout au contraire.

Seules des modifications à type de :

- QRS supérieur à 8/100^e de seconde ;
 - décalage de ST en sens inverse de T ;
 - diminution de l'amplitude de T ou diphasisme de cette onde ;
- traduiraient une insuffisance coronarienne et seraient alarmantes ; une seule de ces anomalies rencontrées ne présente pas de valeur particulière. C'est d'une part sous cet angle, et d'autre part dans l'esprit des travaux de PLAS et BOURDINAUD, que nous envisagerons l'étude de l'électrocardiogramme.

MODIFICATIONS DU VOLUME DU CŒUR

A l'effort, l'augmentation du volume du cœur est de l'ordre de 15 % ; après un exercice musculaire, le cœur atteint parfois un volume

inférieur à son volume initial ; cela s'explique par l'importante vaso-dilatation persistant au niveau des muscles, tandis que disparaît brusquement la vaso-constriction abdominale, provoquée par l'hyperadrénalinémie d'effort. C'est là la réaction normale du cœur sain.

Dans le cas d'effort mal supporté, il y a parfois augmentation du volume du cœur à la fin de l'épreuve. C'est là une réaction qui doit inciter à la prudence.

Enfin, signalons que l'état hypertrophique du cœur sportif, souvent constaté, n'a rien de pathologique.

VARIATIONS DE LA TENSION ARTERIELLE

Elles se font généralement dans le sens d'une augmentation numérique de tous ces éléments :

— la maxima augmente de 1 à 3 cm de Hg ;

— la minima augmente de 0 à 1 cm de Hg ;

ce qui amène une augmentation de la différentielle.

Cela après un effort type step-test. Dans certaines épreuves sportives, on peut rencontrer des maxima à 20-28 cm de Hg.

La constatation d'une diminution de 1 cm de Hg de la minima peut être considérée comme due à l'importance des phénomènes de vaso-dilatation ; toutefois, elle incite à demeurer dans l'expectative.

Une diminution de la valeur absolue de la différentielle ou de la maxima, pendant l'effort (et aussitôt après), est une réaction nettement anormale.

Après l'effort, les variations tensionnelles, en vue du retour à la normale, peuvent être de types variés, comme il l'a été exposé plus haut dans notre description de l'épreuve de MARTINET (cf. *fig. 1*).

Dans le cadre de notre expérimentation, nous ne considérons, n'ayant pas à notre disposition d'appareil permettant de mesurer d'une façon continue la tension artérielle, que les chiffres tension artérielle maxima et minima, avant et deux minutes après l'effort.

B. — APPAREIL RESPIRATOIRE

L'importance des phénomènes respiratoires au cours de l'effort se comprend aisément quand on sait que 1 kg de muscle en travail maximum consomme 20 à 30 fois plus d'oxygène qu'au repos. Nous avons déjà envisagé le problème que pose à la circulation le transport de l'oxygène. Nous considérons maintenant ce qui se passe au niveau

des poumons pour faire face à ce besoin d'oxygène ; le rôle de la respiration pulmonaire est double : elle prélève l'oxygène de l'air, et elle élimine le gaz carbonique produit par les oxydations cellulaires.

Voici la définition des principaux critères respiratoires utilisés dans notre ouvrage.

LE QUOTIENT RESPIRATOIRE (Q.R.)

C'est le rapport : volume du gaz carbonique éliminé par la respiration sur volume de l'oxygène consommé.

Au cours d'un exercice physique, l'élimination de CO_2 et la consommation d' O_2 augmente. Au repos, le Q.R. est en moyenne de 0,7 ; au cours des exercices physiques, le Q.R. tend vers 1 et peut même le dépasser légèrement. Dans une course de fond par exemple, consommation d'oxygène par minute et élimination de CO_2 dans le même temps sont volumétriquement égaux (2,5 l en moyenne) ; c'est approximativement ce qui se passe au cours du step-test. Quand l'effort devient plus important, le Q.R. dépasse 1 ; si l'effort devient trop intense, l'augmentation du volume de CO_2 peut provoquer des phénomènes d'hypercapnie.

LA VENTILATION PULMONAIRE

Les échanges gazeux, considérablement accrus par l'exercice physique, ne peuvent être obtenus que par l'augmentation du volume de la ventilation pulmonaire. Cette ventilation est le produit de la fréquence respiratoire par l'amplitude de chaque inspiration, pendant un intervalle de temps donné. L'accroissement de la ventilation dépend de l'augmentation de chacun des deux facteurs qui la compose.

Au repos, le rythme normal respiratoire est de 12 à 16 mouvements par minute chez l'adulte ; au cours du travail musculaire, ce rythme peut atteindre 20, 30, 40 mouvements à la minute et même plus. Cette accélération du rythme se fait essentiellement sur la durée de l'expiration : au repos, la durée de l'expiration est le double de celle de l'inspiration ; à l'effort, il y a tendance à égalisation. Si l'effort est trop important, il y a essoufflement : on peut constater une inversion du rapport de durée des phases respiratoires, l'expiration devenant plus courte que l'inspiration. Dans ce cas, la respiration devient de plus en plus superficielle, le renouvellement des gaz alvéolaires se fait mal et le sujet s'achemine progressivement vers l'asphyxie.

La profondeur de la respiration ou amplitude respiratoire est en moyenne de 0,4 à 0,5 litre par mouvement au repos (c'est l'« air courant »). A l'effort, l'amplitude augmente et il pénètre à chaque mouvement dans l'arbre pulmonaire 1, 2, 3, 4 litres d'air.

C'est en combinant ces deux mécanismes que la ventilation pulmonaire croît considérablement ; au débit/minute de 5 à 6 litres d'air au repos, se substitue au cours du travail musculaire intense un débit/minute de 100, 120 litres et plus.

Toutefois, le maximum de débit respiratoire ne correspond pas au maximum de fréquence respiratoire : il a été constaté que quand la fréquence augmente dans de trop grandes proportions, le débit respiratoire baisse ; car, quand la fréquence dépasse 25, 30 inspirations/minute, l'amplitude tend à diminuer : le rythme change, c'est l'essoufflement. Cette notion de ventilation pulmonaire retiendra plus particulièrement notre attention au cours de nos expériences.

ESPACE MORT — VENTILATION ALVEOLAIRE

La ventilation définie plus haut correspond au volume gazeux qui pénètre dans les voies aériennes. Si la plus grande partie de cet air entre en contact avec les capillaires alvéolaires, une autre partie (en moyenne 170 cm³) occupe la trachée et les grosses bronches, où aucun échange respiratoire ne s'effectue : c'est l'espace mort. Pour évaluer quelle est la ventilation utile, alvéolaire, il faut soustraire ce volume à la valeur de chaque inspiration. On comprend ainsi que de deux sujets ayant des ventilations pulmonaires égales, c'est celui qui a la plus grande amplitude respiratoire (et par là même la plus faible fréquence) qui a le meilleur rendement : à une ventilation de 2 litres effectuée par une seule inspiration correspond un volume ventilatoire alvéolaire de : 2 litres — 0,170 litre = 1,830 litre d'air ; à la même ventilation pulmonaire de 2 litres effectuée par deux inspirations de 1 litre correspond une ventilation alvéolaire de : 2 (1 l — 0,170 l) = 1,660 litre d'air.

Idéalement, toutes les mesures d'amplitude et de ventilation devraient être corrigées de la valeur de l'espace mort ; les chiffres obtenus seraient plus exacts et plus immédiatement interprétables, mais la mesure de l'espace mort est de réalisation pratique difficile.

CAPACITE VITALE

La notion de capacité vitale est bien connue. Elle se définit comme la somme de :

- l'air de réserve (volume d'air expirable par une expiration forcée après une expiration normale) ;

- l'air courant (volume de l'inspiration normale);
- et l'air complémentaire (volume d'air inspirable par inspiration forcée après une inspiration normale).

Classiquement, le chiffre moyen de la capacité vitale est de 3,5 l; en fait, il s'agit-là d'un chiffre minimum; 4 litres, 4,5 litres sont couramment rencontrés chez l'homme sain (DRUTEL).

La capacité vitale est la valeur maximum de l'amplitude respiratoire au repos: pour réaliser cette amplitude respiratoire maximum, il faut au sujet faire appel à la mise en jeu d'un nombre considérable de muscles; cet effort est réalisé en un temps assez long par un acte hautement volontaire. Au cours du travail musculaire, la respiration étant éminemment réflexe, on conçoit que cette amplitude maximum, la capacité vitale, ne soit jamais atteinte. Mais, c'est le sujet le mieux entraîné sportivement parlant qui, au cours de l'effort s'en approche le plus (60 à 70 %).

COEFFICIENT DE VENTILATION PULMONAIRE (C.V.)

$$\text{C.V.} = \frac{\text{air nouveau} - \text{espace mort}}{\text{air de réserve} + \text{air résiduel}}$$

qui définit le rythme de renouvellement de l'air alvéolaire (c'est le rapport air nouveau utile/air vicié), est un rapport très intéressant pour juger d'une respiration. Mais dans la pratique, l'évaluation de l'espace mort et du volume de l'air résiduel étant de réalisation délicate, il est difficile d'en tenir compte dans bien des épreuves respiratoires.

LA DETTE D'OXYGENE

La consommation d'oxygène pendant et après un effort physique constant varie selon l'amplitude respiratoire du sujet et l'importance de l'effort.

Deux types de variations de cette consommation sont possibles: avec et sans « steady state » (état d'équilibre).

1) Avec steady state (S.T.):

Le sujet équilibre ses besoins d'oxygène (traits pointillés) par sa consommation, la petite dette d'oxygène contractée au début de l'effort étant compensée à la fin de l'effort par une persistance de l'aug-

mentation de la consommation d'oxygène. C'est la réaction rencontrée chaque fois que le sujet fait correctement les frais de son effort (fig. 4).

2) Sans steady state :

Le besoin d'oxygène, trop important, n'est jamais satisfait par la consommation : l'importance de la dette d'oxygène contractée (surface hachurée) amène l'interruption rapide de l'effort. Après l'effort, la consommation d'oxygène reste longtemps importante (jusqu'à ce que la dette d'oxygène soit compensée).

C'est la réaction observée quand l'effort demandé est trop important et dépasse les possibilités de l'organisme. Les valeurs de l'effort-limite sont extrêmement variables avec les sujets (fig. 5).

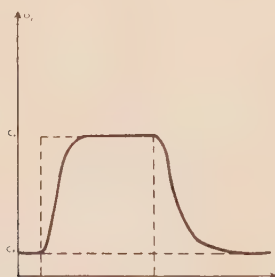


FIGURE 4

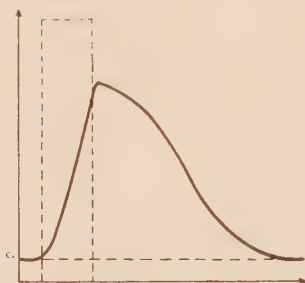


FIGURE 5

1° Courbe avec steady-state — 2° Courbe sans steady-state
En pointillé, la quantité d'oxygène théoriquement nécessaire peut
accomplir le travail demandé
En ordonnée, la consommation d'O₂ ; en abscisse, le temps

L'ESSOUFFLEMENT

C'est la dyspnée qui accompagne la polypnée respiratoire. Il est la résultante de plusieurs processus physiologiques :

- 1° Inversion du rythme respiratoire quand la fréquence dépasse 30/minute. C'est ce changement de rythme qui signe l'essoufflement.
- 2° Diminution de l'amplitude respiratoire.
- 3° Respiration de plus en plus superficielle aux dépens presque exclusivement de l'air complémentaire.
- 4° Hypercapnie due à une évacuation insuffisamment rapide du CO₂ ; d'où inégalité : quantité de CO₂ exhalé inférieur à quan-

tité de CO_2 produit dans le même temps ; cette inégalité devenant de plus en plus marquée au fur et à mesure que l'effort se poursuit.

L'essoufflement progressif à l'effort est schématisé par la figure 6.

Elle met en évidence l'accroissement de la ventilation à l'effort, la stabilisation lors du « second souffle » et enfin l'apparition de l'asphyxie progressive.

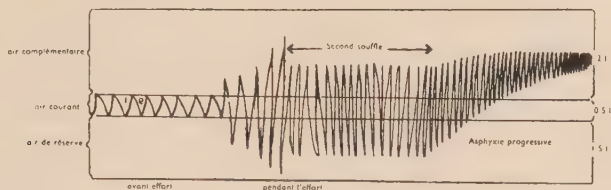


FIGURE 6

Schéma de la respiration au cours de l'effort avec indication des différents secteurs de la C.V. aux dépens de laquelle se fait la respiration

D'après ce schéma, nous voyons que pour un effort important mais pas trop prolongé, un sujet entraîné atteindra rapidement son second souffle et s'y maintiendra. Si l'effort est prolongé trop longtemps, l'essoufflement progressif se produira.

Quand le sujet est peu entraîné sportivement, ou quand l'effort est trop important, on passa sans transition de la phase d'augmentation progressive de la ventilation à la phase d'asphyxie progressive.

C. — LE RETOUR AU CALME

Toutes les modifications, tant circulatoires que respiratoires, survenues à l'effort, tendent à disparaître dès que l'effort cesse ; le retour au calme se fait très progressivement et le temps que durent les perturbations physiologiques est très variable et diffère selon les appareils envisagés. Si l'on se borne à considérer la tension artérielle, le pouls, la consommation d'oxygène, la ventilation et l'élimination du CO_2 , on aurait d'après GUNTHER LEHMAN l'ordre et la durée du retour à la normale suivants :

- Tension artérielle : 5 minutes
- Ventilation : 7 minutes

— Consommation CO_2 :	8 minutes
— Elimination CO_2 :	12 minutes
— Pouls :	30 minutes

(L'effort envisagé par cet auteur allemand est de l'ordre du step-test.)

Toutefois nous ferons remarquer que l'écart de temps entre le retour à la normale de la ventilation et de l'élimination du gaz carbonique semble trop important : en effet, la ventilation dépend de la teneur en gaz carbonique et des chiffres respectifs de huit et neuf minutes seraient plus acceptables pour le retour au calme de ces deux facteurs

* *

Nous avons vu les principales perturbations physiologiques qu'entraîne l'exécution d'un travail musculaire. Les mises en jeu de mécanismes neuro-hormonaux complexes, les modifications chimiques, respiratoires et circulatoires n'ont en définitive qu'un but : fournir aux muscles l'oxygène dont ils ont besoin. En général, les processus biologiques assurant le transfert de l'oxygène du poumon au muscle sont suffisants (sauf en cas de déficience sanguine ou circulatoire). C'est donc au niveau pulmonaire que se joue la possibilité ou l'impossibilité d'accomplir dans de bonnes conditions la « captation » de l'oxygène. On conçoit donc l'importance de l'étude quantitative de la fixation de l'oxygène au niveau alvéolaire. A côté de la quantité absolue d'oxygène fixée et de la variation de cette valeur au cours de l'effort, il est du plus haut intérêt de savoir dans quelle condition de rendement se fait ce travail ; la confrontation des critères de fixation alvéolaire de l'oxygène et ventilation nous donnera une idée de l'efficacité respiratoire du sujet. C'est dans cet ordre d'idée qu'a été pratiquée notre expérimentation.

CHAPITRE III

L'épreuve de l'escabeau

APPAREILLAGE — PROTOCOLE EXPERIMENTAL DONNEES DE L'ENREGISTREMENT

L'épreuve de l'escabeau est directement issue du step-test. Le sujet fournit un travail musculaire important en escaladant 150 fois en cinq minutes un escabeau de 0,50 m de haut. Au lieu de ne considérer que la variation du rythme cardiaque après l'effort, comme c'est le cas dans le step-test classique, nous nous proposons d'étudier aussi les variations tensionnelles, les modifications E.C.G., la valeur de la consommation d'oxygène et les réponses à l'effort du point de vue fréquence respiratoire, amplitude inspiratoire et ventilation.

APPAREILLAGE

La pratique de ce test sur un grand nombre d'individus nous a contraints à réduire et simplifier au maximum l'appareillage nécessaire. Néanmoins, les besoins de l'expérimentation nous ont fait utiliser un nombre d'appareils assez important. Quand nous aurons retenu les critères qui nous semblent nécessaires et suffisants, nous proposerons une réalisation pratique de l'épreuve avec un matériel beaucoup plus réduit.

Le step-test classique est réalisé à l'aide d'un tabouret de 20 pouces de haut (0,50 m) que le sujet escalade sans s'aider des mains. Les sujets de petite taille sont défavorisés par la hauteur de la marche. Pour que l'avantage des grands sur les petits soit moins grand, et afin de réaliser une synergie musculaire plus complète, nous avons muni le tabouret de deux rampes inclinées servant d'appuie-mains.

L'emploi d'un métronome battant la seconde a supprimé l'imprécise et fastidieuse énumération « 1 - 2 - 3 - 4 » qui donnait le rythme de l'épreuve. Ce métronome bat la seconde à chaque temps : au premier temps, le sujet monte sur l'escabeau et se redresse complètement ; au deuxième temps, le sujet descend, et ainsi de suite.

Pour étudier la ventilation, nous utilisons une cuve de Bénédicte, et pour une mesure plus précise de la consommation, nous faisons travailler nos sujets en atmosphère d'oxygène à 100 %. L'emploi d'un cycle fermé d'oxygène nous a conduit à considérer le problème des masques et des embouts. A première vue, le masque respiratoire semble préférable ; en effet, il permet une respiration physiologique par la bouche et le nez, mais sur un sujet en mouvement, les tiraillements causés par le poids des conduits d'oxygène provoque inévitablement des fuites ; aussi nous faut-il employer une pièce buccale avec son corollaire, le désagréable pince-nez. Pour éviter toute fatigue et blessure au niveau des lèvres et des gencives, nous avons suspendu l'embout à la potence d'un support léger en duralumin, qui s'attache au dos du sujet.

L'appareillage suivant a donc été utilisé :

- Un escabeau de 0.50 m. proche de celui du step-test (20 pouces = 0,50 m environ). Ce tabouret est muni de deux rampes inclinées, avec appuie-mains en caoutchouc. Pour éviter que le sujet glisse sur l'arête du degré, une lame de caoutchouc garnit le bord de la marche.
- Un spiromètre de Bénédicte, composé d'une cuve renversée sur un plan d'eau, assure l'alimentation en O_2 . Cette cuve a une contenance de 20 litres d'oxygène sous la pression d'une atmosphère.

Un compartiment placé à l'intérieur de la cuve, sur le circuit expiratoire, contient de la chaux sodée destinée à fixer le CO_2 provenant de l'expiration : ceci afin d'éviter d'une part les erreurs dans la mesure du volume d'oxygène consommé, d'autre part les réactions polypnéisantes que pourrait provoquer une atmosphère par trop enrichie en CO_2 . Deux soupapes inspiratoire et expiratoire impriment un sens constant au courant gazeux.

Un embout de caoutchouc est fixé à une pièce métallique en Y : le sujet doit maintenir cet embout dans ses sillons gingivo-labiaux. Cette pièce en caoutchouc communique avec la cuve à oxygène par deux tuyaux de 4 cm de diamètre intérieur. Ces tuyaux, en caoutchouc annelé, sont souples et faits de telle façon que leur lumière constamment béante freine aussi peu que possible les courants gazeux ; ils sont fixés au niveau de la cuve sur les soupapes inspi-

ratoire et expiratoire. L'embout est fixé à une tige de métal léger dont l'extrémité supérieure s'ajuste dans un orifice de la potence du support dorsal.

Un support dorsal, fait d'une armature de métal léger et de courroies, est fixé au dos du sujet ; la potence qui le domine maintient l'embout devant la bouche du sujet.

Un cylindre, tournant à une vitesse constante, porte une feuille sur laquelle une plume, solidaire de la cloche à oxygène, inscrit tous les mouvements de la cuve (nous employons là le procédé couramment employé pour mesurer le métabolisme basal).



FIGURE 7

Le temps « 1 » de l'épreuve de l'escabeau

Un métronome à signal sonore et lumineux est réglé pour battre la seconde.

Une pièce nasale garnie de caoutchouc mousse obture les narines.

Tout cet appareillage de mesure est complété par un E.C.G. donnant un enregistrement simultané des trois dérivations standard et par un tensiomètre à mercure.

La pièce où sont effectuées les épreuves est d'assez vastes dimensions et les systèmes d'aération et de chauffage sont réglés de telle sorte que tout au long de notre expérimentation nous avons bénéficié d'une température ambiante constante : $18^{\circ} \pm 2^{\circ}$; ceci nous a permis de faire directement des comparaisons de mesures relatives. Sans être insonorisée, cette pièce est assez isolée pour que les bruits extérieurs ne viennent pas troubler les sujets en expérience.

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Notre expérimentation porte sur 50 volontaires. Il s'agit de jeunes hommes de dix-neuf à vingt-sept ans en bonne santé (apte au service armée). Parmi eux, certains ont des qualités sportives incontestables, d'autres sont moins bien doués physiquement ; quoique tous en bonne santé, ce sont de jeunes intellectuels qui d'une façon générale ne pratiquent qu'épisodiquement les sports.

L'épreuve se déroule l'après-midi de 15 h à 17 h ; l'influence de la digestion peut certes perturber les résultats biologiques ; mais cette étude étant surtout comparative, le choix d'une heure relativement fixe nous a paru une précaution suffisante.

Avant chaque test, nous débutons par une petite conversation qui a le double but de mettre le sujet en confiance et de lui expliquer ce qu'on attend de lui. L'intérêt qu'ont montré la majeure partie des sujets peut, en partie, remplacer la forte motivation dont ils auraient fait preuve si le test était obligatoire et professionnellement éliminatoire.

Pendant ce préambule, le sujet s'est mis en tenue de gymnastique : short et espadrilles. Il est alors pesé, toisé. Sa surface corporelle est déterminée d'après les tables de DUBOIS. Après la mesure de la tension artérielle, l'enregistrement E.C.G. dans les trois dérivations standard, le sujet endosse le support spécial en alliage léger, place entre ses lèvres et ses arcades dentaires l'embout respiratoire. La pince nasale ajustée, il commence un essai pour rien, de courte durée, de façon à se familiariser avec le port de l'embout, du pince-nez et avec la respiration en oxygène à 100 %. On réalise ainsi pendant une minute à peu près un essai de rythme. Cela fait, le sujet se repose. Après quelques minutes, l'épreuve proprement dite commence. Le sujet, debout au garde-à-vous, respire normalement pen-

dant cinq minutes. Ainsi, on détermine sa courbe spirométrique de repos ; cet exercice permet d'autre part de purger ses poumons de l'air atmosphérique qu'ils contiennent.

A un signal donné, l'effort commence : monter et descendre de l'escabeau à chaque « top » sonore, c'est-à-dire au rythme d'une ascension toutes les deux secondes. L'épreuve doit se poursuivre cinq minutes si le rythme est bien respecté. Elle doit être interrompue dès que le rythme n'est plus suivi (à partir d'un retard de 10 mouvements sur la cadence imposée), ou dès que le sujet donne des signes d'essoufflement et d'épuisement net qui se traduisent par une accélération importante du rythme respiratoire et une diminution de l'amplitude des mouvements respiratoires et souvent par une pâleur marquée des téguments et une cyanose des lèvres.

Dans le cas favorable, le sujet arrête son effort au bout de cinq minutes : il reprend autant que faire se peut pendant cinq minutes la position du garde-à-vous (il respire toujours en atmosphère d'oxygène pur). Au delà de ce délai, il est libéré de tout appareillage et récupère complètement, assis dans un fauteuil.

Dans le cas défavorable, l'épreuve doit être interrompue prématurément (vers la quatrième minute généralement). Le candidat fatigué doit néanmoins continuer à respirer en atmosphère d'oxygène pure, pour que nous puissions étudier ses réactions respiratoires après effort. La plupart du temps, il arrache spontanément pince-nez et embout, et s'assoit très essoufflé. Quelle que soit la réaction du sujet, l'expérience se poursuit par la prise de tension artérielle dans les trois minutes qui suivent l'effort et par l'enregistrement électro-cardiographique, une minute, cinq minutes et dix minutes après l'épreuve. Nous avons complété ces examens par l'analyse des urines dans l'heure qui suit. Enfin, nous avons noté quelles étaient les réactions d'ordre caractériel des sujets après ce violent effort.

Quelle que soit la marge de l'épreuve, il nous a fallu en considérer un certain nombre comme ininterprétables : de petits incidents, telle la perte du pince-nez, des fuites au niveau de l'embout, ou l'arrêt inopiné de l'enregistrement graphique. Il est bien entendu qu'on ne peut en aucun cas demander alors au sujet de reprendre l'épreuve, même après un repos de deux ou trois heures.

L'expérimentation, telle que nous venons de la décrire, est longue : l'épreuve complète demandant facilement une heure et demie. Mais ce protocole est uniquement destiné à l'expérimentation physiologique de l'épreuve ; nous proposerons plus loin un protocole simplifié visant à sa réalisation pratique.

DONNÉES DE L'ENREGISTREMENT GRAPHIQUE

Nous avons recueilli deux sortes de documents :

1° Une courbe spirométrique.

2° Des tracés E.C.G.

L'interprétation du tracé spirométrique porte sur les valeurs de :

- la consommation d'oxygène ;
- l'amplitude inspiratoire moyenne ;
- la fréquence respiratoire ;
- la ventilation pulmonaire ;

par minute d'effort.

L'étude de l'E.C.G. est centrée sur :

- les variations du rythme cardiaque ;
- la recherche des extrasystoles ;
- les modifications de la forme des différents complexes ;
- les variations d'amplitude de P et de T ;
- les variations de l'axe électrique.

Le calcul des facteurs respiratoires d'après la courbe spirométrique

Nous obtenons une série d'oscillations ascendantes, nous les circonscrivons entre deux courbes formées de segments de droite (un segment par espace/minute considéré). La dénivellation de la cuve inscrite sur le papier nous permet de calculer la consommation d'oxygène par minute, connaissant la vitesse de déroulement du cylindre enregistreur (3 cm mesurés sur une ligne horizontale à la minute).

Nous avons divisé notre courbe en minutes successives et étudié les caractéristiques de la respiration pour chacune des minutes d'effort.

Les calculs sont facilités par la connaissance des caractéristiques de la cuve : 1 cm de dénivellation inscrit sur le papier égale 0.58 l de gaz. Le coefficient de correction à apporter à la valeur des volumes gazeux mesurés pour les ramener à 0° C 76 cm de Hg, et la précision de nos mesures, nous ont amenés à utiliser l'approximation commode de 1 cm = 0,5 litre.

— La valeur de la consommation pendant une minute donnée est mesurée à partir de la courbe inférieure (qui circonscrit notre série d'oscillations). Elle est égale à la différence de niveau entre les points terminal et initial de l'espace considéré ($h' - h$).

— L'amplitude moyenne des mouvements respiratoires est calculée en prenant la hauteur (a) qui sépare nos deux courbes au milieu de l'espace-temps considéré.

— La fréquence respiratoire par minute est donnée en lisant le nombre d'oscillations contenues dans un espace par minute (précision de la mesure ± 1).

— Enfin la ventilation pulmonaire par minute est calculée en faisant le produit de la fréquence par l'amplitude.

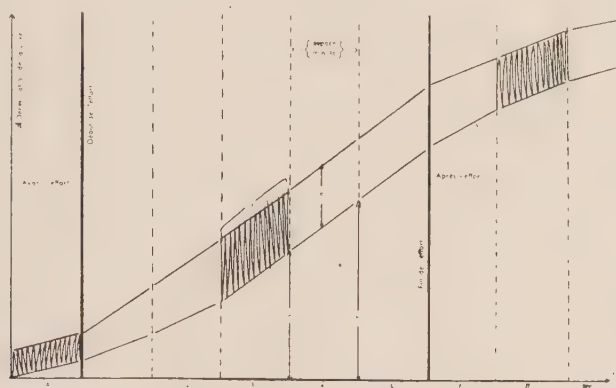


FIGURE 8. — Schéma de la courbe spirométrique
En ordonnée, volume d'oxygène en litre; en abscisse, temps
en minutes

INTERPRETATION ELECTROCARDIOGRAPHIQUE

Les tracés E.C.G. sont interprétés par la technique proposée par PLAS et BOURDINAUD, étude de la variation des axes de QRS et T selon les quatre types décrits par ces auteurs.

A partir de ces éléments, nous avons établi la fiche d'observation de chacun des sujets soumis à notre expérimentation. Elle est ainsi rédigée :

- profession ;
- âge ;
- sports pratiqués ;
- poids ;
- taille ;
- surface corporelle ;

- valeur de : la consommation d'oxygène, la fréquence respiratoire par minute, l'amplitude moyenne, la ventilation pulmonaire, avant, pendant et cinq minutes après l'effort ;
- le type de l'E.C.G. ;
- le pouls avant et une, cinq, dix minutes après l'épreuve ;
- la tension artérielle avant l'épreuve et deux minutes après ;
- la présence ou l'absence d'albumine dans les urines une heure après l'épreuve ;
- les réactions d'ordre psychosomatique présentées après l'effort.

De ces données, nous avons tiré une statistique sommaire pour définir quel est le meilleur type de réaction à l'effort.

CHAPITRE IV

Résultats statistiques

Notre expérimentation a porté sur 50 sujets de dix-neuf à vingt-sept ans ; il s'agit de sujets en bonne santé, mais présentant des qualités sportives inégales. Un premier critère a départagé nos sujets : la durée pendant laquelle ils ont pu effectuer le test ; pour compléter notre catégorisation, nous avons, grâce à l'observation des réactions psychosomatiques après l'effort, pu séparer les sujets qui avaient effectué le test à grand peine de ceux chez qui l'effort avait semblé parfaitement toléré. Nous avons eu :

- 3 sujets qui n'ont tenu que trois minutes ;
- 15 sujets qui ont tenu environ quatre minutes ;
- 30 sujets qui ont tenu les cinq minutes demandées ;
- 2 sujets qui ont dépassé de peu (quinze à trente secondes) ce temps.

Tous les tracés n'ont pu être retenus ; différents incidents techniques ont réduit le nombre des tracés corrects à 39.

Finalement, nos résultats sont groupés ainsi :

GROUPE A (Sujets insuffisants quant au critère temps), soit :

- GROUPE A I : 2 sujets tenant troisièmes ;
- GROUPE A II : 10 sujets tenant quatre minutes.

GROUPE B (Sujets suffisants quant au temps d'exercice) :

- GROUPE B I : 10 sujets tenant difficilement les cinq minutes, mais y arrivant grâce à un effort de volonté.
- GROUPE B II : 15 sujets tenant facilement les cinq minutes.
- GROUPE B III : 2 sujets ayant facilement dépassé les cinq minutes.

Ce sont surtout A II, B I et B II que nous considérerons au cours de cette étude, les réactions des GROUPES A I et B III venant, comme nous le verrons, confirmer à la limite nos observations.

CARACTÈRES MORPHOLOGIQUES DES SUJETS

Pour l'ensemble de nos observations, nous avons les résultats suivants :

- Age : 22 ans (± 3 ans).
- Taille : 1,72 m ($\pm 0,10$).
- Poids : 70 kg (± 10 kg).
- Sexe : masculin (nous avons toutefois l'observation de Mlle D..., championne parachutiste).

IMPORTANCE DE L'EFFORT FOURNI

Le travail mécanique fourni pour gravir l'escabeau est égal au produit de la hauteur de la marche par le poids du sujet, multiplié par le nombre de fois que l'exercice est effectué. Le travail fourni pour descendre de l'escabeau représente, comme nous l'avons déjà dit, environ un tiers du travail défini plus haut. Dans le cas du sujet type de 1,72 m — 70 kg, nous avons, pour une épreuve de cinq minutes, un travail mécanique total de l'ordre de :

$$\begin{array}{ll} 70 \text{ kg} & \text{poids du sujet} \\ \times 0,50 & \text{hauteur de l'escabeau (en mètres)} \\ \times 150 & \text{nombre de fois que le sujet monte et descend la marche} \\ \times (1 + 1/3) & \text{somme des travaux pour monter et descendre la marche} \end{array}$$

soit :

$$70 \times 0,5 \times 150 \times (1 + 1/3) = 7.000 \text{ kilogrammes/mètre}$$

correspondant à une puissance de :

$$\frac{7.000}{5 \times 60} = 23 \text{ kg/m/seconde, soit } 1/3 \text{ de C.V.}$$

(c'est-à-dire en watts : $23 \times 9,81 = 225$ watts).

L'effort est ici pratiquement le double de celui proposé par COPÉE pour des épreuves respiratoires.

Pour les sujets du GROUPE A II, la puissance développée est bien entendu la même, mais le travail effectué ne représente que les 4/5^e : l'effort n'ayant duré que quatre minutes.

RÉACTIONS CARDIO-VASCULAIRES

LE POULS

Les résultats suivants ont été obtenus dans les différents groupes :

	<i>Avant</i>	<i>1 mn après</i>	<i>5 mn après</i>	<i>10 mn après</i>
GROUPE A	80	130	120	110
GROUPE B	76	150	120	100

L'accélération est supérieure chez les meilleurs sujets (groupe B), mais cela est dû en grande partie au fait qu'ils ont fourni un travail plus important que les sujets du groupe A. Par contre, le retour au calme est plus rapide pour le groupe B.

Les coefficients moyens du step-test de ces deux groupes sont :

— GROUPE A : de 38 à 55 — Moyenne : 52

— GROUPE B : de 63 à 91 — Moyenne : 69

soit d'après les normes d'appréciation du step-test :

— GROUPE A : épreuve mauvaise.

— GROUPE B : épreuve moyenne

Notre différenciation des GROUPES BI et BII s'est également appuyée sur la valeur numérique de ces indices. On a ainsi :

— GROUPE BI : de 63 à 68 — Moyenne : 66

— GROUPE BII : de 69 à 91 — Moyenne : 73

LA TENSION ARTERIELLE

Les résultats trouvés sont conformes aux résultats classiques.

Nous avons :

	<i>Avant l'effort</i>	<i>Après l'effort</i>
GROUPE A	$12,2 \pm 0,8/8,3 \pm 0,5$	$13,4 \pm 1/8,5 \pm 0,5$
GROUPE B	$12,5 \pm 0,5/7,3 \pm 0,5$	$14 \pm 1,5/7,3 \pm 0,5$

avec comme variation de la différentielle :

— GROUPE A : $1 \pm 0,5$ cm de Hg

— GROUPE B : $2 \pm 1,5$ cm de Hg

Il est à noter que chez un sujet du GROUPE B I, nous avons eu une réaction anormale : sa tension artérielle était 13-8, elle passa à l'effort à 17-7. Sans avoir de signification nettement pathologique, cette réaction doit, à notre sens, inciter à la prudence.

L'E.C.G.

Pour l'ensemble de nos sujets, l'E.C.G. est resté normal et nous n'avons pratiquement jamais noté d'extrasystole.

A partir des définitions de PLAS et BOURDINAUD, quant aux variations des axes électriques QRST, nous avons rencontré (cf. Chapitre I, fig. 2) :

- *Type 1* : 4 % (GROUPE A II)
- *Type 2* : 0 %
- *Type 3* : 94 % (GROUPES A et B)
- *Type 4* : 2 % (GROUPE B I)

en comparant l'électrocardiogramme une minute avant l'effort et une minute après.

Cinq minutes après l'effort, les tracés étaient encore de 56 % des cas du *Type 3*.

Dix minutes après l'effort, la tachycardie résiduelle mise à part, les tracés étaient semblables à ceux du repos ou du *Type 1*.

Nous sommes donc amenés à penser que la réaction normale après step-test est du *Type 3* : cela est en rapport avec l'intensité de l'effort fourni.

Les réactions du *Type 1* (une minute après l'effort) ont été rencontrées chez 2 sujets du GROUPE A II à motivation insuffisante et qui avaient interrompu leur effort prématurément, sans avoir été au bout de leurs possibilités.

MODIFICATIONS DE L'ÉLIMINATION URINAIRE

Nous avons trouvé dans l'analyse des urines dans l'heure qui suit l'épreuve (les urines recueillies avant l'épreuve étaient toutes exemptes d'albumine) :

GROUPE A I :

- pas d'albumine : 50 %
- traces d'albumine : 50 %

GROUPE A II :

- pas d'albumine : 40 %
- traces d'albumine : 50 %
- $0,5 \pm 0,2$ g : 10 %

GROUPE B I :

- pas d'albumine : 60 %
- traces d'albumine : 40 %

GROUPE B II :

- pas d'albumine : 70 %
- traces d'albumine : 30 %

GROUPE B III :

- pas d'albumine : 50 %
- 0,5 g : 50 %

D'une façon générale, nous n'avons pas constaté de modifications notables de l'élimination rénale, mais vérifié la fréquence considérable des albuminuries d'effort.

RÉACTIONS RESPIRATOIRES

C'est surtout sur ce chapitre qu'ont porté nos observations. Si pour les autres données biologiques nous devons nous contenter de leur valeur pendant et après l'effort, ici, grâce à l'enregistrement spirométrique, nous avons pu suivre pendant l'épreuve les variations de la respiration. Ainsi, notre étude de la respiration est-elle assez complète puisque nous considérerons ce qui se passe avant, pendant et après l'effort.

LA CONSOMMATION D'OXYGÈNE

Les moyennes des consommations d'oxygène par minute avant et après l'effort sont indiquées dans le *tableau*, page 58.

	Avant l'effort	Pendant l'effort (minutes)					Après l'effort (minutes)		
		1	2	3	4	5	1	2	3
GROUPE A I	0,4	0,9	1	1,2					
GROUPE A II	0,4	1,1	1,5	1,75	2,3				
GROUPE B I	0,4	1,2	1,65	1,85	2,15	2,75	1,9	1,5	1
GROUPE B II	0,35	1,4	1,85	1,95	2,05	2,05	1,5	1	0,7
Ensemble									
BI + BII	0,4	1,3	1,75	1,9	2,1	2,3	1,7	1,3	0,9

Remarque : le chiffre élevé de la consommation au repos est vraisemblablement en rapport avec le fait que le sujet gêné par le port du pince-nez a une respiration volontaire qui l'amène à faire des mouvements plus amples.

En considérant les courbes de consommation d'oxygène, on peut constater :

- 1° Que si l'on excepte les cas-limites (GROUPES A I et B III) à la fin de la troisième minute d'épreuve, tous les sujets ont la même consommation : $2 \pm 0,3$ litre.

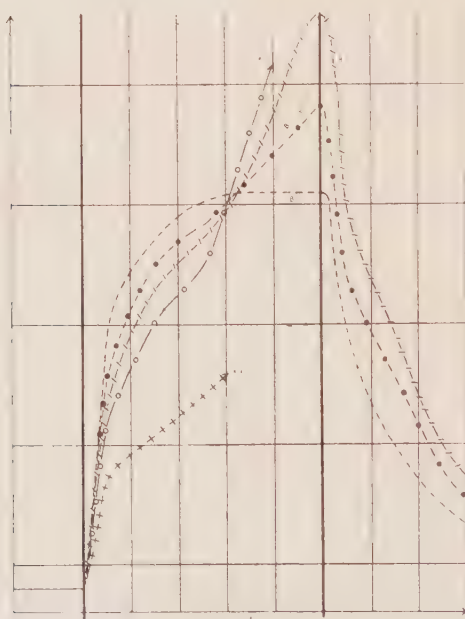


FIGURE 9. — Consommation moyenne des différents groupes
En ordonnées, oxygène en litres; en abscisses, temps en minutes
On remarquera qu'à la troisième minute toutes les courbes se croi-
sent : la consommation est alors de 2 litres

- 2^o Que pendant les trois premières minutes, les consommations d'oxygène sont d'autant plus faibles que les sujets sont moins entraînés.
- 3^o Que les sujets du GROUPE B II stabilisent la consommation dans les deux ou trois dernières minutes et atteignent ainsi le « steady state, tandis que, chez les autres (A II, B I), la consommation croît jusqu'à la fin de l'épreuve. Ainsi s'individualisent deux types de réactions :
- l'une, caractéristique des GROUPES B I, A II, consommation en augmentation constante ;
 - l'autre, caractéristique du GROUPE B II, plateau de consommation en fin d'épreuve, « steady state ».

L'analyse de nos observations, selon la forme de la courbe de consommation, a mis en évidence, en fait, trois types de courbes au lieu de deux : les deux types décrits plus haut sont les plus fréquents ; mais il existe un troisième type caractérisé par une augmentation de la consommation, une stabilisation pendant deux minutes, puis une reprise de l'augmentation de la consommation.

Si nous appelons :

- *Type 1* : la courbe en plateau ;
- *Type 2* : la courbe avec plateau médian et reprise de l'augmentation de la consommation ;
- *Type 3* : la courbe d'augmentation continue de la consommation ;

nous constatons que nous avons la répartition suivante, selon les groupes :

	<i>Type 1</i>	<i>Type 2</i>	<i>Type 3</i>	TOTAL
GROUPE A I	0	0	2	2
GROUPE A II	1	1	8	10
GROUPE B I	0	2	8	10
GROUPE B II	14	1	0	15

Il semble :

- que le *Type 1* soit la réaction principale du GROUPE B II, 93 % des cas ;
- que le *Type 3* soit la réaction des GROUPES A et B I, 82 % des cas ;
- tandis que le *Type 2* serait une réaction intermédiaire rencontrée plus souvent dans le GROUPE B I.

Si le test ne durait que quatre minutes, le *Type 2* disparaîtrait et nous aurions des résultats encore plus nets :

- GROUPE B II : 100 % de *Type 1* ;
- GROUPES A et B I : 80 % de *Type 3* ;
- contre 20 % de *Type 1*.

C'est sur ces données, les types de la courbe, que nous baserons plus loin notre classification des aptitudes à l'effort.

LA FREQUENCE PAR MINUTE

De par son rythme, une ascension toutes les deux secondes, notre épreuve a tendance à imposer une fréquence respiratoire de 30 par minute. Nous avons vu plus haut que cette fréquence était la limite des ventilations optima, il n'y a donc aucun inconvénient à ce que ce rythme soit imposé.

Mais si la plupart des sujets du GROUPE B II atteignent très rapidement, mais sans le dépasser, ce rythme de 30, dans les autres groupes il n'est pas rare de voir la fréquence respiratoire croître constamment jusqu'à ce qu'elle atteigne 45. Si nous considérons d'une part les sujets qui ne dépassent pas la fréquence de 30, et ceux, d'autre part, qui la dépassent, nous avons selon les groupes :

- GROUPES A : 100 % des sujets dépassent le rythme de 30 ;
- GROUPES B I : 50 % des sujets dépassent le rythme de 30, mais seulement de 2 à 5 mouvements respiratoires ;
- GROUPES B II : 1 seul sujet dépasse le rythme de 30 ;
5 sujet restent à une fréquence inférieure à 28, tous les autres se maintiennent à 30.

L'AMPLITUDE DES MOUVEMENTS RESPIRATOIRES

Au cours de l'épreuve, l'amplitude augmente assez considérablement puisqu'elle part de 0.5 ± 0.3 litre, à 2 ± 1 litre en fin d'épreuve. Là aussi, nous distinguons trois types de variation :

- *Type 1* : l'amplitude croît puis se stabilise dans les deux ou trois dernières minutes ;
- *Type 2* : l'amplitude croît constamment tout au long de l'épreuve ;
- *Type 3* : l'amplitude, après avoir crû pendant la majeure partie du temps d'exercice, décroît *in fine* ; dans le cas

de cette réaction, on constate en général une amplitude supérieure dans la première minute qui suit l'épreuve à celle de la dernière minute de l'épreuve.

Ces trois types se distribuent de la façon suivante :

	<i>Type 1</i>	<i>Type 2.</i>	<i>Type 3</i>	TOTAL
GROUPE A I	0	2	0	2
GROUPE A II	0	6	4	10
GROUPE B I	2	5	3	10
GROUPE B II	8	7	0	15

Nous constatons ainsi que le *Type 2* et *3* sont les plus fréquents dans les GROUPEs A et B I (respectivement 100 % et 80 %), tandis que le *Type 1* domine dans le GROUPE B II, 55 %.

LA VENTILATION PULMONAIRE

Elle est le produit de la fréquence par l'amplitude moyenne. Nous l'exprimons en litres.

La moyenne des résultats trouvés est la suivante :

	<i>Avant l'effort</i>	<i>Pendant l'effort</i>					<i>Après l'effort</i>		
		1	2	3	4	5	1	2	3
GROUPE A I ...	15	28	53	76					
GROUPE A II ...	13	35	54	64	80				
GROUPE B I	11	26	43	55	63	68	68	45	33
GROUPE B II	11	30	43	54	58	60	52	35	27

Ce tableau, mieux encore que le schéma (*fig. 10*) montre que, pour les sujets du GROUPE A, il y a augmentation constante de la ventilation. Au contraire, dans les GROUPEs B, il y a une tendance plus ou moins nette à la stabilisation en fin d'épreuve : ébauchée pour le GROUPE B I, elle est plus nette pour le GROUPE B II.

On note, en outre, que dans le GROUPE B I la ventilation ne diminue pas immédiatement à la fin de l'épreuve ; tandis que dans le GROUPE B II, l'hyperventilation cesse avec l'effort.

Pour la ventilation pulmonaire, l'étude des courbes de chaque individu a montré qu'il existe deux courbes de variations :

- *Type 1* : la ventilation tend à se stabiliser dans les dernières minutes de l'effort ; elle diminue de façon très nette dès la fin de l'effort. Ce type-a été rencontré : GROUPE A, 0 % ; GROUPE BI, 40 % ; GROUPE B II, 60 % des cas.

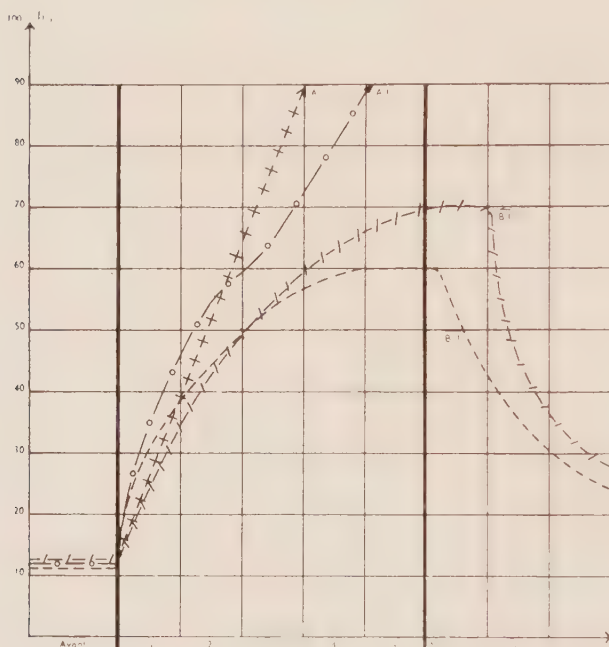


FIGURE 10
Ventilation moyenne des différents groupes

- *Type 2* : la ventilation croît constamment au cours de l'épreuve, avec, dans quelques cas, une ébauche de stabilisation terminale ou une légère diminution *in fine*. Après l'effort, la diminution de la ventilation est peu accentuée, parfois même on constate une ventilation égale à celle de la dernière minute d'effort pendant la première minute qui suit l'effort. Ce type est rencontré dans les différents groupes : GROUPE A, 100 % ; GROUPE BI, 60 % ; GROUPE B II, 40 % des cas.

Le *Type 2* se rencontre surtout quand la fréquence est supérieure à 30, tandis que l'amplitude tend à diminuer.

Huit sujets (5 du GROUPE A, 3 du GROUPE B I, ayant présenté ce type de ventilation) ont manifesté en fin d'épreuve des troubles divers tels que lipothymie, phénomènes d'automatisme, vraisemblablement en rapport avec un certain degré d'hypercapnie.

L'ETUDE DE LA FREQUENCE EN FONCTION DE LA VENTILATION PULMONAIRE : $F = f(V)$

La recherche statistique pour aboutir à une telle fonction, a donné pour l'ensemble de nos sujets : $F = 4/10 V + 8$. Cette fonction est très voisine de celle proposée par MARGARIA (voir Chapitre I, *fig. 4*).

Toutefois, nous n'attachons que peu de valeur à cette fonction, car le rythme de notre épreuve induit en grande part le rythme de la respiration, et par là même, enlève beaucoup de valeur à cette fonction. Ce n'est que lorsque la fréquence dépasse 30 que cette fonction retrouve pleinement son sens.

La courbe expérimentale tracée à partir de la moyenne de chacun des groupes, a montré que tous nos sujets se trouvaient dans l'intervalle des sujets considérés comme normaux par MARGARIA.

COEFFICIENT D'UTILISATION DE LA VENTILATION (C/V)

(Consommation/Ventilation)

Ce rapport donne une indication sur la qualité de la respiration. Il indique quel taux de la ventilation est utilisé par l'organisme. Ce facteur qui indique en quelque sorte le rendement de la respiration est très séduisant à considérer. Mais, l'organisme humain n'est pas une machine, aussi les résultats obtenus manquent de rigueur. Ils sont extrêmement variables avec les sujets. Si la moyenne de ce coefficient est au repos de 33 %, il peut varier selon les sujets de 15 à 60 %.

La variation de ce rapport au cours de l'effort n'est pas nette : le nombre de sujets variant comme la moyenne est assez faible. En résumé, on peut dire que, chez les sujets satisfaisants, ce rapport est susceptible d'augmenter assez considérablement en début d'effort ; tandis que chez les sujets insuffisants, il varie peu et tendrait plutôt à diminuer.

Si l'on étudie d'une part ce rapport au repos et d'autre part ce rapport pour la totalité de l'effort

$$\frac{C^1 + C^2 + C^3 + C^4 + C^5}{V^1 + V^2 + V^3 + V^4 + V^5}$$

on obtient les résultats suivants (exprimés en ‰) :

	<i>Repos</i>	<i>Effort</i>
GROUPE A I	24	18
GROUPE A II	32	28
GROUPE B I	43	38
GROUPE B II	32	38

$38 \pm 8\%$ nous semble le taux normal d'utilisation de la ventilation à l'effort. Au-dessous de ce chiffre, les sujets (GROUPE A essentiellement) « gaspillent » leur ventilation : ils ne pourront effectuer leur effort dans de bonnes conditions. On remarque d'autre part que chez les sujets du GROUPE B I, c'est en diminuant leur rendement qu'ils effectuent l'effort (43-38), tandis que chez les sujets du GROUPE B II, c'est en l'augmentant légèrement qu'ils effectuent l'effort (32-38). Cette réaction semble très bonne puisque, au fur et à mesure que la puissance développée augmente, leur rendement croît.

* *

Pour terminer cette étude statistique, nous donnons les ordres de grandeur des différentes valeurs, rapportés au m² de surface corporelle (étude effectuée sur 10 sujets du GROUPE B II).

	<i>Avant l'effort</i>	<i>Pendant l'effort</i>					<i>Après l'effort</i>				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Consommation d'O ₂ en l/m ² de S.C. et par minute	0,250	0,7	0,9	1,1	1,1	1,1	1	0,7	0,5	0,4	0,35
Amplitude inspiratoire en l/m ² de S.C.	0,5	0,8	1	1,25	1,35	1,35	1,1	1	0,8	0,6	0,5
Ventilation en l/m ² de S.C. et par minute ...	6	16	26	35	40	40	30	20	15	12	10

CHAPITRE V

Discussion des différents critères de l'épreuve de l'escabeau

Nous avons enregistré, au cours de notre expérimentation, un très grand nombre de modifications biologiques chez l'individu soumis à notre test. Ainsi conçue, notre épreuve est lourde et peu pratique, sa réalisation dans l'usage courant est irréalisable.

Après avoir envisagé les critiques qui pourraient être faites à notre protocole expérimental et à notre appareillage, nous essayerons de dégager, des résultats obtenus, ceux qui sont les plus significatifs et qui méritent d'être retenus, ainsi que ceux dont l'intérêt est moindre et que, pour alléger l'épreuve, nous pourrions dorénavant négliger.

CRITIQUE DE NOTRE EXPÉRIMENTATION

Nous avons fait travailler nos sujets en circuit fermé d'oxygène pur. De ce choix résultent des avantages et des inconvénients. L'emploi de l'oxygène pur permet une mesure facile de la consommation et rend plus aisée l'épreuve : l'effort de captation de l'oxygène atmosphérique par l'organisme étant diminué.

Par contre, il est généralement admis que l'oxygène pur a un effet dépresseur sur l'organisme et notamment son inhalation ralentit le rythme cardiaque ; nous n'insisterons pas sur ce point, car les effets dépresseurs de l'oxygène sont relativement minimes et ne commencent à se manifester nettement qu'à partir d'une heure d'inhalation. (Dans le cas de notre épreuve, les sujets restent au maximum quinze minutes en oxygène pur.)

L'emploi du circuit fermé a également l'inconvénient d'introduire des erreurs qui peuvent être assez importantes : les volumes gazeux mesurés étant assez minimes. La moindre fuite ou entrée parasite de

gaz peut dénaturer complètement les mesures. L'obligation de fixer le gaz carbonique afin de maintenir le taux d'oxygène à 100 % nous oblige à employer un bac à chaux sodée. Si, dans le début de l'épreuve, la chaux sodée fixe facilement et complètement l'anhydride carbonique, en fin d'épreuve il n'en est pas de même : la quantité d'anhydride carbonique dégagée allant croissant et le pouvoir d'absorption de la chaux sodée, diminuant, l'atmosphère gazeuse peut comporter une certaine quantité de gaz carbonique qui pourrait être à la base d'un certain degré d'hyperventilation en fin d'épreuve. En fait nous avons, à plusieurs reprises, mesuré à l'issue de l'expérience la teneur en anhydride carbonique de la cuve ; 0,2 % a été le taux le plus fréquemment rencontré, jamais le taux d'anhydride carbonique n'a été supérieur à 0,4 %. Nous considérons qu'un tel taux d'anhydride carbonique est insuffisant pour provoquer des modifications physiologiques importantes. En effet, dans les épreuves d'hyperventilation provoquée, les taux successifs d'anhydride carbonique admis dans le circuit sont de 1, 2, 3, 4, 5, 6 %, et ce n'est qu'à partir de 2 à 6 % que des modifications importantes de la ventilation apparaissent.

Les gaz expirés par le sujet étant plus chauds que les gaz inspirés, une nouvelle erreur pourrait se glisser dans l'appréciation des volumes gazeux. En fait, la température des gaz dans la cuve en fin d'expérience ne dépasse que rarement de 2° la température de l'atmosphère ambiante : la masse d'eau située dans le fond de la cuve jouant le rôle de régulateur thermique.

Enfin, nous terminerons ces critiques de notre méthode d'expérimentation en soulignant que si le port de l'embout et du pince-nez qui oblige le sujet à respirer par la bouche n'est pas très physiologique, c'est le seul moyen que nous ayons eu de réduire les déperditions de gaz au cours de l'exercice.

Compte tenu de tous ces petits inconvénients inhérents à notre système expérimental, nos chiffres ont peut-être des valeurs absolues critiquables. Néanmoins, nous pensons qu'ils peuvent être retenus comme valables, car ils sont dans l'ordre d'idée de ceux généralement admis par bien des auteurs, LO MONACO entre autres. Mais nous tenons à souligner que plus qu'une étude des valeurs absolues, c'est la recherche de valeurs comparatives qui nous a guidés dans l'élaboration de ce travail.

* * *

Nous passons maintenant en revue les différents critères étudiés au cours de notre expérimentation.

A. — LA DURÉE DE L'ÉPREUVE

Sur 50 sujets, 60 % seulement avaient pu atteindre le temps imposé de cinq minutes ; 2 sujets ont pu le dépasser, mais de très peu, tandis que 46 % des sujets ont difficilement atteint les quatre minutes. La durée de l'épreuve est donc déjà en elle-même, un test d'aptitude à l'effort.

Le temps de travail maximum qu'un même sujet peut atteindre est éminemment variable : le test n'étant pas un exercice particulièrement agréable à effectuer, le sujet peut être tenté, dès les premiers signes de fatigue, d'abandonner ; c'est, dans bien des cas, plus une question de volonté, de persévérance que de capacités à effectuer l'effort, qui amène le sujet à tenir le temps réglementaire de cinq minutes. Deux sujets de forme physique très différente peuvent terminer le test, l'un grâce à ses possibilités physiques, l'autre dépassant ses possibilités grâce à un effort de volonté. Donc, si dans une certaine mesure la durée du test permet chez des sujets moyens de doser leur motivation, leur force de volonté (ce qui est intéressant au point de vue pratique, car la capacité physique n'est rien sans la volonté de réussir), elle ne permet pas un jugement biologique qualitatif et quantitatif suffisant pour juger de l'aptitude à l'effort.

B. — LES RÉACTIONS CARDIO-VASCULAIRES

LE POULS

Sa signification est classiquement connue, puisqu'il est le critère admis dans le step-test habituel. Les indications qu'il donne, sans avoir la valeur absolue que les auteurs anglo-saxons avaient voulu lui attribuer, sont assez démonstratives des réactions cardio-vasculaires de l'organisme à l'effort (compte tenu toutefois de l'équilibre neuro-végétatif du sujet). Nous avons vu que le retour à la normale est relativement lent, de l'ordre d'une demi-heure ; cependant il nous semble que la numération du pouls (N) pendant quatre-vingts secondes, comptée *deux minutes après l'effort*, permet d'évaluer avec une précision suffisante le coefficient de step-test classique ($N = P + P' + P''$). On n'aurait ainsi qu'une numération de pouls à faire pour évaluer I, l'indice du step-test.

LA TENSION ARTERIELLE

Les variations de la tension artérielle obtenues après l'épreuve de l'escabeau sont celles que nous pouvions attendre. Rien de nouveau ou de bien significatif n'a été observé au cours de cette épreuve. Les variations : augmentation de la différentielle due surtout à l'augmentation relativement plus considérable de la maxima que de la minima, sont classiques. Les différences entre les sujets des GROUPES A et B n'ont pas été significatives. Une étude difficile à réaliser, des variations continues de la tension artérielle pendant et après l'effort, aurait peut-être été plus démonstrative.

L'ELECTROCARDIOGRAMME

D'une façon générale, l'E.C.G. après l'épreuve a été peu perturbé ; et nous étant assurés au départ que nos candidats avaient un cœur normal, nous n'avons jamais constaté d'anomalies de caractère nettement pathologique.

La variation des axes de R et de T étudiés sur nos sujets dans l'esprit de la publication de PLAS et BOURDINAUD sur les quatre types de réactions après épreuve de MARTINET, nous a montré que c'était pratiquement toujours le *Type 3* qui était rencontré. Ce type est considéré par ces auteurs comme anormal. Les résultats que nous avons obtenus conduisent à considérer les variations d'axes électriques de la façon suivante :

Si après un effort minime (épreuve de MARTINET) la persistance après l'effort de la réaction du cœur « à l'effort » pouvait sembler anormale, après notre épreuve, qui demande un effort physique très intense, la persistance de cette réaction est plus facilement acceptable. Aussi, considérons-nous la réaction du *Type 3* comme normale après l'épreuve de l'escabeau.

La réaction de *Type 1* a été rencontrée deux fois ; cette réaction, considérée comme normale après l'effort minime, peut sembler comme paradoxale dans le cas de notre épreuve : il n'en est rien ; elle a été rencontrée chez deux sujets aptes à l'effort, mais qui, faute de motivation suffisante, ont prématurément interrompu leur test (épreuve légèrement inférieure à quatre minutes), et par là même réalisé un effort minime par rapport à leurs capacités.

Le *Type 2* n'a jamais été rencontré : il est décrit comme le type des réactions du cœur vieilli ; or, nos sujets sont tous de jeunes adultes en bonne forme physique.

Le *Type 4*, enfin, a été rencontré une fois chez un sujet qui a très péniblement tenu trois minutes de test ; le caractère de morbidité de cette réaction est très acceptable vu le passé pathologique du sujet, mais nullement probant.

Il semble donc, dans le cas de notre épreuve, que, l'assurance ferme de l'intégrité du myocarde étant exigée, les données de l'E.C.G. après effort ne présentent pas un intérêt primordial. Dans la réalisation pratique de l'épreuve, les enregistrements E.C.G. et le calcul des axes pourront donc être supprimés.

C. — LES RÉACTIONS RESPIRATOIRES

Nous avons vu combien les réactions respiratoires à l'effort ont été variées et comment la fréquence des types décrits se retrouvaient à des pourcentages significatifs dans l'un ou l'autre groupe. Le classement de nos sujets dans les différents groupes, assez subjectif au départ, s'est vu confirmé à 80 % par nos observations expérimentales.

LA CONSOMMATION D'OXYGENE

C'est une notion qui a priori a une très grande importance puisqu'elle peut résumer tout le travail musculaire (MARGARIA) : plus « la captation » de l'oxygène est bien réalisée, mieux l'effort est exécuté. Dans le rappel physiologique du début de notre travail, nous avons particulièrement insisté sur la forme de la courbe de consommation et la notion de dette d'oxygène. La qualité du travail musculaire effectué est inversement proportionnelle à la dette d'oxygène : quand la dette d'oxygène est trop importante, le muscle travaille dans de mauvaises conditions, et les actions de l'hypoxie se manifestent par une fatigue intense qui donne : pâleur des téguments, cyanose des lèvres, tendance lipothymique et, à la limite dans certains cas, des phénomènes d'automatisme : le sujet en expérience est inconscient, ses fonctions supérieures semblent disparaître. A cela s'ajoute l'action polypnéisante de l'hypercapnie relative ainsi réalisée.

Ces manifestations anormales ont surtout été observées après les épreuves des sujets des GROUPES A II (50 %) et dans une proportion moindre dans le GROUPE B I (30 %). Par contre, dans le GROUPE B II, il n'est apparu aucun de ces phénomènes : l'organisme faisait correctement les frais de l'effort.

a) FORME DE LA COURBE DE CONSOMMATION D'OXYGÈNE AU COURS DE L'ÉPREUVE

Ces constatations sont vérifiées par l'étude des courbes de consommation d'oxygène : la courbe avec steady state, théoriquement la meilleure, se retrouve à 97 % dans le GROUPE B II ; la courbe sans steady state (celle de l'effort au-dessus des possibilités du sujet) est rencontrée chez la plupart des sujets des GROUPES B I et A II, et toujours chez le GROUPE A I. La courbe avec amorce de steady-step et reprise de l'augmentation de consommation *in fine*, assez rare dans notre échantillonnage, a son maximum de fréquence dans le GROUPE B I. Ceci montre que c'est la réaction intermédiaire : l'effort bien supporté quatre minutes et mal supporté au delà. Dans ce type de courbe, on peut dire que l'intensité de l'effort est acceptable pour le sujet, mais que ses capacités d'endurance sont limitées. L'étude de la forme de la courbe nous montre donc :

- 1° si l'effort demandé est dans les possibilités du sujet ;
- 2° si, cet effort étant possible, les qualités d'endurance du sujet sont suffisantes pour lui permettre de poursuivre pendant cinq minutes cet effort. Nous jugeons ainsi du seuil de l'effort physiologiquement acceptable par le sujet et de ses qualités d'endurance.

b) VALEUR DE LA CONSOMMATION D'OXYGÈNE

Les valeurs moyennes de la consommation d'oxygène ne nous ont pas renseignés, comme nous le souhaitions, sur l'aptitude à l'effort. Les différences individuelles de consommation à l'intérieur d'un groupe sont supérieures aux différences entre les moyennes de chaque groupe. La valeur absolue de la consommation-minute est un critère que nous ne retiendrons pas. Notons toutefois que la connaissance de ces moyennes est néanmoins utile : les sujets déficients (GROUPE A I) ont une consommation-minute nettement au-dessous de la moyenne.

Nous avons comparé nos résultats à ceux observés par LO MONACO et ses collaborateurs. A première vue, nos chiffres semblent plus élevés que ceux de l'Ecole italienne. En fait, si on les compare en tenant compte des écarts-types proposés par LO MONACO, on a pour les cinq minutes d'épreuve :

	1 ± 0,3	1,9 ± 0,3	2,1 ± 0,3	2,2 ± 0,3	2,2 ± 0,3
GROUPE B I de notre échantillonnage	1,4	1,85	1,95	2,05	2,05

soit des chiffres, pour notre GROUPE B II, toujours compris dans les écarts-types de LO MONACO. Ses résultats et les nôtres sont donc parfaitement superposables, bien que les sujets de l'auteur italien aient travaillé en air atmosphérique et les nôtres en oxygène pur.

LA VENTILATION PULMONAIRE ET SES COMPOSANTES : L'AMPLITUDE ET LA FREQUENCE RESPIRATOIRES

Ces deux facteurs renseignent qualitativement et quantitativement sur la valeur de la respiration. Au cours de l'effort, nous avons observé les variations suivantes :

L'amplitude est soit :

- a) croissante au début de l'effort pour se stabiliser dès la troisième minute de l'épreuve ;
- b) croissante tout au long de l'épreuve ;
- c) croissante pendant la majeure partie de l'effort avec légère diminution en fin d'épreuve : moment où le sujet fatigué interrompt l'épreuve.

La fréquence :

Elle passe rapidement de 12 ± 3 au repos à 30 inspirations/minute à la 3^e minute d'effort ; mais dans les dernières minutes, deux phénomènes peuvent être observés :

- a) la fréquence reste stabilisée à 30 ;
- b) la fréquence continue d'augmenter jusqu'à atteindre parfois 40-45 inspirations/minute.

De la combinaison des facteurs amplitude et fréquence pourraient résulter six types de courbes ventilatoires. En fait, le nombre de courbes expérimentalement obtenues est plus réduit.

Nous avons obtenu :

- a) la combinaison d'une amplitude et d'une fréquence stabilisée qui nous donnent une ventilation constante pendant les deux dernières minutes de l'épreuve ;
- b) fréquence stabilisée et amplitude croissante ou fréquence croissante et amplitude croissante qui aboutissent à une augmentation de la ventilation ;
- c) dans le cas où la fréquence est croissante et l'amplitude décroissante en fin d'épreuve, la ventilation pulmonaire est généralement en augmentation. Toutefois, nous signalons qu'il arrive que l'augmentation de la fréquence est insuffisante à compenser

la diminution de l'amplitude : il s'en suit alors une petite diminution de la ventilation pulmonaire qui, généralement, signe un arrêt prématuré de l'épreuve.

Des combinaisons envisagées, seule la première aboutissant à une stabilisation de la ventilation est satisfaisante, car dans ce cas l'équilibre respiratoire est réalisé au niveau alvéolaire.

Les autres combinaisons sont plus ou moins défavorables : la dernière combinaison étant de loin la moins satisfaisante, car elle aboutit toujours à l'arrêt prématuré du test.

Amplitude et fréquence sont des variations intéressantes à considérer, mais dans le cadre de notre travail, l'étude de leur produit, la ventilation pulmonaire, nous semble suffisante : en effet, seule la stabilisation de ces deux variables peut être considérée comme bonne réponse à notre épreuve.

Aussi, nous nous proposons de n'envisager que les variations de la ventilation indépendamment de l'étude de ses composants. Nous sommes amenés à considérer deux types de réponse ventilatoire :

- *type I* : la ventilation se stabilise (réaction satisfaisante) ;
- *type II* : la ventilation ne se stabilise pas (réaction défavorable).

Pour la notation de notre épreuve, nous tiendrons compte de ces deux types de variation.

L'INDICE D'UTILISATION DE LA VENTILATION PULMONAIRE (C V)

Cet indice a théoriquement une certaine valeur. Expérimentalement, nous avons montré que chez le sujet capable de faire une épreuve de cinq minutes, il était égal à $38 \pm 8\%$ pendant l'effort. Toute valeur inférieure devrait indiquer un individu qui utilise insuffisamment sa ventilation.

Pour les valeurs comprises dans les limites de la normale, il faut considérer la valeur de l'indice au repos :

- si, au repos, cet indice est inférieur à celui de l'effort, le sujet a une réaction d'effort très saine : il facilite son travail musculaire en améliorant son rendement ;
- si l'indice de repos est pratiquement égal à l'indice d'effort : le sujet fait parfaitement les frais de son effort (on considère en effet qu'un effort est d'autant mieux supporté que les réactions qu'il provoque sont plus faibles) ;
- si l'indice au repos est supérieur, le sujet voit son rendement amoindri par l'effort. Son intégrité respiratoire est peut-être

bonne, mais il est vraisemblable qu'au repos il respire mal, il a une ventilation « de luxe », parasite. Ses performances s'amélioreront certainement par l'entraînement à l'effort et les exercices respiratoires.

* *

Des nombreuses réactions physiologiques à l'effort, nous pouvons donc en négliger quelques-unes : soit qu'elles soient peu démonstratives, soit que, tout en ayant une certaine valeur, elles soient techniquement assez peu accessibles, soit enfin qu'elles risquent de faire double emploi avec d'autres.

Finalement, nous ne considérerons que :

- la durée de l'épreuve ;
- le rythme cardiaque après l'épreuve ;
- la consommation d'oxygène ;
- la ventilation pulmonaire.

Ce sont là des caractères facilement accessibles et comme nous l'avons montré, suffisamment démonstratifs.

* *

Nous terminerons ce chapitre en traçant le schéma d'une épreuve de l'escabeau satisfaisante :

Le sujet est âgé de vingt-deux ans.

Il mesure 1,72 m et pèse 69 kg.

Sa tension artérielle est :

- avant l'effort de 12-7 ;
- après l'effort de 14-8.

Le rythme cardiaque deux minutes après l'effort est de l'ordre de 130.

Le type d'E.C.G. est du type 3 immédiatement après l'effort, avec retour à la normale dix minutes après.

Sa ventilation se stabilise (à 3-4 litres près) dans les trois dernières minutes de l'effort, et commence à baisser immédiatement après.

La fréquence respiratoire atteint 30 dès la troisième minute et s'y maintient.

L'amplitude croît pour se stabiliser dans les deux dernières minutes.

Le coefficient d'utilisation de la ventilation passe de 35 au repos à 40 à l'effort.

En fin d'épreuve, le sujet reconnaît que le test est difficile, mais il estime qu'il aurait pu pousser son effort pour tenir une minute de plus. Enfin, il récupère rapidement sans aucun trouble.

CHAPITRE VI

La détermination d'un indice pour l'épreuve de l'escabeau

En conclusion du chapitre précédent, nous nous proposons d'intégrer en un indice numérique :

- 1° Durée de l'exercice et rythme cardiaque ;
- 2° Consommation d'oxygène pendant l'effort ;
- 3° Ventilation minute pendant l'effort.

A. — LA DUREE DE L'EXERCICE ET LE RYTHME CARDIAQUE

Pour tenir compte de la durée de l'exercice et du rythme cardiaque, nous nous tournons vers la formule du step-test où ces deux facteurs sont intégrés d'une façon simple :

$$I = \frac{D \times 100}{2 (P + P' + P'')}$$

avec :

D = durée de l'épreuve exprimée en secondes

et P , P' , P'' = les pulsations prises aux temps donnés

Nous avons proposé de prendre approximativement pour $P + P' + P''$, la valeur N du nombre de pulsations compté pendant 90 secondes, deux minutes après l'effort.

Pour des raisons de proportionnalité entre les différents facteurs entrant dans notre coefficient, ce n'est pas I que nous considérerons

$$\text{mais } A = \frac{I}{5}, \text{ c'est-à-dire } \frac{10 D}{N}.$$

A est le premier facteur de notre évaluation, nous n'en considérerons que les valeurs entières, les valeurs décimales seront arrondies au nombre entier le plus proche.

B. — LA CONSOMMATION D'OXYGENE

Le deuxième facteur de notre évaluation (B) est déterminé en cõtant les courbes de consommation :

- a) Courbe avec steady-state (*Type 1*) 3 points
- b) Courbe avec amorce de steady-state et reprise de l'augmentation de la consommation (*Type 2*) 1 point
- c) Courbe sans steady-state (*Type 3*) 0 point

C. — LA VENTILATION PULMONAIRE

Le troisième facteur de notre évaluation (C) est déterminé en cotant dans l'esprit de la discussion du chapitre précédent les courbes de ventilation :

- a) Courbe avec stabilisation terminale (A 2 ou 3 litres près pendant les trois dernières minutes de l'épreuve) (*Type I*) 2 points
- b) Courbe sans stabilisation de la ventilation (*Type II*) 0 point

* *

L'Indice de l'Epreuve de l'Escabeau (E) est égale à la somme des points obtenus pour chacun des facteurs étudiés, soit :

$$E = A + B + C$$

Nous proposons d'évaluer les résultats de l'épreuve selon le barème suivant :

- 11 $\pm$ 1 : mauvais
- 14 $\pm$ 1 : médiocre
- 17 $\pm$ 1 : moyen
- 20 $\pm$ 1 : bon
- 23 $\pm$ 1 : excellent

Ceci est une première échelle d'évaluation, où les exigences sont celles communément admises pour le step-test. Selon le degré de sélection que l'on voudra atteindre, la barre des « moyens » sera placée plus ou moins haut.

Le barème demande à être vérifié par l'expérience ; ce ne'st qu'après avoir testé de très nombreux individus par cette méthode et après un recul d'un ou deux ans que l'on pourra définitivement établir une cotation.

Pour les sujets composant notre échantillonnage, nous avons obtenu les résultats moyens suivants :

- A I : 11 ± 1 : mauvais
- A II : 13 ± 2 : faible
- B I : 13 ± 2 : de moyen faible à moyen
- B II : 18 ± 2 : de moyen à bon

Les sujets du Groupe B III ont les mêmes indices que les sujets du Groupe B II ; ainsi, l'on voit que si la durée du test joue un rôle important, quand les 5 minutes sont dépassées de très peu, il n'y a pas forcément meilleur indice.

CHAPITRE VII

Proposition pour la réalisation pratique et simplifiée de l'épreuve de l'escabeau

Nous avons vu que le nombre de critères à retenir était relativement faible ; l'appareillage assez complexe réalisé au Laboratoire rend l'épreuve telle que nous l'avons décrite, impossible à réaliser dans la pratique (sur une Base Aérienne ou dans un Centre de Sélection militaire). Aussi proposons-nous maintenant de décrire un protocole d'exécution simplifié, et n'exigeant qu'un matériel réduit.

Le matériel nécessaire se résume à :

- Un embout à 2 soupapes : l'une inspiratoire, ouverte directement sur l'air ambiant, l'autre expiratoire, reliée à un spiromètre avec en dérivation un ajustage latéral pour l'analyseur de gaz. On peut employer soit l'appareil de MARGARIA où le prélèvement des gaz est fait mécaniquement par mouvement d'horlogerie ; ces gaz sont dans un second temps analysés ; par comparaison de leur composition avec celle de l'air extérieur, on déduit l'oxygène fixé soit plus simplement en employant un Beckman (signalons à ce sujet que le petit Beckman usuel, qui donne le pourcentage d'oxygène de 0 à 100 % avec peu de précision, est insuffisant. Il faut employer un appareil dont la précision doit être au moins de $1/200^{\circ}$ et la bande de lecture comprise entre 10 et 25 % d'oxygène).
- Un escabeau avec rampe latérale (hauteur de la marche 0,50 m).
- Enfin, un métronome battant la seconde et un chronomètre.

L'épreuve se déroulera selon les normes standards du step-test : le pouls sera pris pendant 90 secondes à partir de la 2^e minute qui suit l'épreuve.

Le sujet respire à l'air libre, et, à l'aide d'un embout à soupape, expire dans un spiromètre. Toutes les 30 secondes pendant toute la durée de l'épreuve et 1 minute après, les chiffres du spiromètre sont notés. On note, en même temps, à l'aide d'un appareil à mesure du pourcentage d'oxygène, type Beckman, la teneur en oxygène de l'air expiré, toutes les 30 secondes également.

Le nombre de pulsations cardiaques comptées et la durée de l'épreuve donnent le premier chiffre A. Le chiffre C est obtenu en établissant la courbe de la ventilation d'après les valeurs relevées sur le spiromètre.

Le chiffre B est obtenu en calculant d'après les pourcentages indiqués par le Beckman, la courbe de la consommation d'oxygène.

* *

Ainsi simplifiée, l'épreuve est réalisable facilement, avec peu de matériel et par des auxiliaires médicaux dont la compétence en matière de physiologie n'a pas besoin d'être grande.

Au point de vue temps, sept minutes suffisent pour tester un sujet.

Des épreuves pourraient être réalisées en séries, à condition de posséder autant de spiromètre analyseurs et d'examineurs que de sujets.

C'est dans cet esprit que les recherches se poursuivent au Centre d'Enseignement et de Recherche de Médecine Aéronautique.

Conclusions

I. — Parmi les nombreux tests proposés pour déterminer l'aptitude à l'effort, la plupart portent sur les réactions cardio-vasculaires ; cependant, depuis quelques années, on tend à s'orienter vers des épreuves où la fonction respiratoire est prise pour critère.

II. — Après avoir rappelé les principaux tests utilisés dans la pratique courante, nous avons cherché à déterminer une épreuve de sélection au deuxième degré, c'est-à-dire portant sur des sujets préalablement sélectionnés par des examens physiologiques et médicaux simples.

III. — Nous décrivons une épreuve dérivée du step-test et nous étudions statistiquement sur cinquante sujets les résultats obtenus dans l'étude de :

- l'importance de l'effort ;
- la motivation du sujet ;
- la durée de l'effort ;
- les réactions cardio-vasculaires : rythme cardiaque, tension artérielle, électrocardiographie ;
- la respiration : consommation d'oxygène, fréquence respiratoire, amplitude des mouvements inspiratoires, ventilation pulmonaire, hypercapnie, coefficient d'utilisation de la ventilation, consommation d'oxygène par mètre carré de surface corporelle.

IV. — Après discussion des résultats obtenus, nous pensons pouvoir retenir quatre critères principaux :

- la durée de l'épreuve ;
- le rythme cardiaque après l'effort ;
- la forme de la courbe de la consommation d'oxygène ;
- la forme de la courbe de la ventilation pulmonaire.

V. — Nous proposons un indice de l'épreuve ainsi mise au point. La valeur de cet indice pourrait être ultérieurement précisée en étendant nos recherches à un plus grand nombre de sujets.

Vu, le Doyen :
BINET

Vu, le Président de Thèse :
CHAILLEY-BERT

Vu et Permis d'imprimer,
le Recteur de l'Académie de Paris :
SARRAILH

Bibliographie *

- ARNAUD (J.), TULOU (P.) et MÉRIGOT (R.). — L'exploration de la fonction respiratoire. (1 vol., Paris, Masson édit., 1947.)
- BAINBRIGE (F.A.). — The physiology of muscular exercises. (1 vol., 1931.)
- BERGERET (P.). — E.C.G. en physiologie aéronautique. (*Bull. du Service de Santé de l'Air*, Paris, 10 octobre 1942.)
- BEST (C.H.) et TAYLOR (N.B.). — The physiological basis of medical practice. Chap. 34. (1 vol., Baltimore, William et Wilkin edit., 1950.)
- BINET (L.) et ACHARD. — Effets physiologiques des milieux suroxygènes. (*Journ. de Phys. Pathologie Générale*, 1927, 3, 469.)
- BINET (L.) et BOURGEOIS (M.). — Explorations cliniques de la fonction respiratoire. (*Paris Médical*, 1920, 28, 381.)
- *BINET (L.) et ROGER. — Traité de physiologie normale et pathologique. (Paris, Masson édit., 1928, tomes 5, 6 et 8 [11 vol.].)
- *BOIGNY (M.). — Manuel scientifique d'éducation physique. (1 vol., Paris, Masson édit., 1939.)
- BOUR (H.). — L'action défatigante de l'oxygène dans la pratique sportive. (*Méd. Ed. Physique et Sport*, 1948, 1, 92-102.)
- BROCARD (H.) et DRUTEL (P.). — Etude de la fonction ventilatoire pulmonaire par la méthode graphique.
- *BROUHA (L.) et DILL (D.B.). — Le travail humain (1940, 8, 86).
- BROUHA (L.) et DILL (D.B.). — Le comportement cardio-vasculaire des différents sujets dans la pratique des sports. (*Congrès International de Méd. Appl. à l'Education Physique*, Paris, 1937.)
- *CASSREL (Y.). — A propos de quelques nouveaux tests sur l'entraînement musculaire et l'effort. (*Thèse de Médecine*, Paris, 1951.)

* Les titres marqués d'un astérisque indiquent les ouvrages auxquels nous avons le plus fait appel ou qui contiennent une importante bibliographie.

- CASSINIS (U.). — Controllo medico dello sport. (1 vol., Roma, E. Pinci edit. 1934.)
- *CHAILLEY-BERT (P.). — Aptitude aux sports et contrôle médical. (1 vol., Paris, Baillière édit., 1941.)
- *CHAILLEY-BERT (P.). — Sport et éducation physique. (1 vol., Paris, Baillière édit., 1948.)
- CHAILLEY-BERT (P.). — Leçon inaugurale (30 avril 1952). (*Méd. Educ. Phys. et Sport*, Paris, mai 1952.)
- CHAILLEY-BERT (P.) et PLAS (F.). — Automatisme du cœur et système nerveux extra-cardiaque. (*Méd., Educ. Phys. et Sport*, Paris, 1954, 2, 58-90.)
- CHRISTENSEN (H.). — *Arbeitsphysiologie*, Berlin, 5, 476.
- COMROE (J.H.). — Methods in medical researchs. Pulmonary function tests. (Chicago, The Year Book publishers, 1950, 2, 74, 244.)
- *COPPÉE (G.). — Les épreuves fonctionnelles cardiaques et respiratoires en médecine du travail.
- COURNAND (A.), RICHARDS (D.W.) et DARLING (R.C.). — Graphic tracing of respiration in study pulmonary disease. (*American Review Tuberculosis*, 1939.)
- CURETON (T.K.), KASH (F.P.), BROWN (J.) et MOSS (W.G.). — Physical fitness appraisals and guidance. (1 vol., Saint-Louis, The C.V. Mosby Co, 1947.)
- DELLOUÉ (M.). — La variation de la tension artérielle au cours du travail musculaire. (*Thèse de Médecine*, Paris, 1955.)
- *DESBOIS (R.J.). — L'exploration du système nerveux végétatif au cours de l'examen médico-physiologique des aviateurs. (*Thèse de Médecine*, Paris, 1951.)
- DUCHÊNE DE BOULOGNE. — Physiologie du mouvement. (1 vol., Paris, Baillière édit., 1867.)
- DUGUET (J.). — L'évolution de la sélection des aviateurs. (*Espace*, 1946, 7.)
- DUGUET (J.) et TABUSSE (L.). — Recrutement du personnel navigant. (*Doc. Aéron. Moderne*, 1946, 4, 6-14.)
- EVARD (E.). — Le rôle des épreuves sportives et des exercices physiques dans la doctrine de la sélection médico-physiologique des candidats aviateurs à la force aérienne belge. (*Médecine Aéronautique*, Paris, 1951, 4, 291-299.)
- EVARD (E.). — Essai d'application du step-test au contrôle médico-sportif et à la sélection des aviateurs. (*Médecine Aéronautique*, 1951, 6, 301-307.)
- EVARD (E.). — Application du step-test à la sélection et au contrôle médical périodique des aviateurs. (*Médecine Aéronautique*, Paris, 1952, 7, 375-393.)
- FABRE (R.), GRANDEAU et LOUBATIE. — Modifications périmétriques et spirométriques au cours de l'essoufflement. (*C.R. Soc. de Biologie*, 1935.)

- *FABRE (R.), MERKLEN (L.) et CHAILLEY-BERT. — Education physique et contrôle médical. (1 vol., Paris, Baillière édit., 1948.)
- FLACK (M.). — L'aptitude respiratoire dans ses rapports particuliers avec l'aviation. (*Archives Internationales de Physiologie*, 1915.)
- FORISSIER (R.). — Problèmes du comportement et de la sélection chez les parachutistes. (*Thèse de Médecine*, Paris, 1954.)
- GRANDPIERRE (R.), TABUSSE (L.) et BOUIVEROT. — Modifications du rythme cardiaque provoquées par l'inhalation d'oxygène. (*Journ. de Physiologie*, Paris, 1945, 47, 185-190.)
- *GRANDPIERRE (R.). — Revue critique des principales méthodes d'exploration de la fonction respiratoire. (*Médecine Aéronautique*, Paris, 1951, 6, 105.)
- GRANDPIERRE (R.). — Note sur un nouveau test d'aptitude cardiaque à l'effort : le step-test. (*Médecine Aéronautique*, Paris, 1947, 2, 353-357.)
- *GRANDPIERRE (R.), LABARTHE (P.) et LEMAIRE (R.). — Les tests de « forme physique » du personnel navigant sur leurs rapports avec le vol sur avions modernes de combat. (*Médecine Aéronautique*, Paris, 1951, 6, 281-287.)
- GUILLAUME (L.). — Application d'une épreuve de sélection des aviateurs au contrôle médico-sportif. (Test des 40 mm de mercure.) (1 vol., Nancy, Lorraine édit., 1946.)
- GUILLON (P.). — Etude de la capacité vitale en fonction de la taille, du poids et de la surface corporelle chez l'enfant et l'adulte. (*Thèse de Médecine*, Bordeaux, 1936.)
- HENRION (J.). — Intérêt de l'étude de l'appareil cardio-vasculaire dans la surveillance de l'E.P. militaire. (*Ann. Hygiène Pub. et Soc. J.F.*, 1950.)
- HENRION (J.). — Affections cardio-vasculaires et aptitude à servir dans l'armée. (*Revue du Corps de Santé Militaire*, mars 1953, 1.)
- HERMAN et JOURDAN. — Cours de physiologie. (Lyon, 1951-1952 [cours non édité].)
- JAULME et BASTARD. — Nouveau test de forme pour la surveillance de l'E.P. militaire. (*Revue du Serv. de Santé Militaire*, juin 1954, n° 2.)
- JEQUIER-DOGE (E.). — Spirométrie au repos et à l'effort chez les sportifs. (*Cahiers Mens. de Médecine*, 1946, 2, 401.)
- JEQUIER-DOGE (E.). — Examen des sportifs à l'ergomètre avec enregistrement spirométrique continu. (*Sport und Kreislauf*, 1 vol., Bern, Huter edit., 1946, p. 125.)
- *JEQUIER-DOGE (E.). — A propos du déficit oxygène. (*J. Suisse de Médecine*, 1950, 80, 13-34.)
- JOHNSON (R.E.), BROUHA (L.) et DARLING (R.G.). — Un test d'aptitude physique appliqué à un exercice violent. (*Revue Canadienne de Biologie*, 1942, 1, 491-503.)

- *KAISER (Ch.). — Physiologie du travail et du sport. (1 vol., Paris, 1947.)
- *LEHMANN (G.). — Praktische Arbeitsphysiologie. (1 vol., Stuttgart, Thieme edit., 1953.)
- L'HÉRITIER (Ph.). — Les méthodes statistiques dans l'expérimentation biologique. (1 vol., Paris, C.N.R.S., 1949.)
- LIAN (C.). — Une épreuve d'aptitude cardiaque à l'effort. (*Presse Médicale*, Paris, 1916, 395.)
- *LO MONACO (T.), ROSSANIGO (F.) et TAGLIAMONTE (B.). — Le condizione respiratoria durante la cosiddetta « Prova dello Scalino ». (*Rev. di Med. Aeronautica*, Roma, 1955, 3.)
- *LO MONACO (T.) et SCANO (A.). — Exploration fonctionnelle des appareils respiratoire et cardio-vasculaire. (*Communication au Congrès de Médecine Aéronautique*, Naples, septembre 1954.)
- MARGARIA (R.) et MARRO (F.). — La determinazione del massimo lavoro respiratore come prova funzionale. (*Revista Med. Aeron.*, Roma, 1954, 17, 385-390.)
- *MARGARIA (R.), MARRO (F.) et GUISTINA (G.). — Le frequenza respiratoria infunzione della ventilazione polmonare come prova della funzionalita dell'apparato respiratori. (*Revista Med. Aeron.*, Roma, 1954, 17, 391-395.)
- MARTINET (A.). — Epreuve fonctionnelle respiratoire. (*Presse Médicale*, Paris, 1916, 1, 27-29.)
- MAREY (E.J.). — Du mouvement dans les fonctions de la vie. (1 vol., Paris, Baillière édit., 1868.)
- MAREY (E.J.). — La méthode graphique dans les sciences expérimentales. (1 vol., Paris, Baillière édit., 1885.)
- MATHIEU (P.). — Rapport sur la comparaison et l'utilisation de nouveaux tests chez les sportifs. (*Méd., E. P. et Sport*, 1940, 2, 159-170.)
- *MERKLEN (L.). — Le rythme du cœur au cours de l'activité musculaire. (*Thèse de Médecine*, Nancy, 1926.)
- MERKLEN (L.) et GODOT (A.). — Comportement respiratoire des différents sujets dans la pratique des sports. (*Congrès International de Médecine Appliquée à l'Education Physique*, Paris, 1937.)
- MERKLEN (L.), GRANDPIERRE (R.) et GUILLAUME (L.). — Les épreuves d'aptitude cardiaque à l'effort. (*Médecine Aéronautique*, Paris, 1947, 342-352.)
- *MORIN (G.). — Physiologie du travail humain. (1 vol., Paris, Masson édit., 1946.)
- PACHON (V.). — E.P. et critères fonctionnels, les variations de la T.A. Critères d'entraînement. (*C.R. Soc. de Biologie*, 1910, 1, 869.)
- *PLAS (F.). — Etude électrique des épreuves d'exploration fonctionnelle cardiaque. (*Méd., E. P. et Sport*, Paris, 1953, 4, 175-186.)

- PLAS (F.), BOURDINAUD (J.) et MISSENARD (A.). — Test de Flack. Epreuve d'aptitude cardio-respiratoire. (*Presse Médicale*, Paris, 1951, 10, 210.)
- PRÉVOST (G.). — Problèmes d'expertise posés en milieu militaire par les troubles fonctionnels cardiaques. (*Thèse de Médecine*, Paris, 1952.)
- PUDDU et MASSAFIA. — E.C.G. d'effort. (*Arch. Mal. C. V.*, 1949, 1, 277.)
- ROSSIER (Ph.) et WINSSINGER (K.). — Fonction pulmonaire et physio-pathologie. (*Rev. Tuberc.*, 1948, 12, 461-474.)
- SAINT-UPÉRY (Cl.). — Des troubles dus à l'hyperoxie. (*Thèse Médecine*, Paris, 1954.)
- *SANTENOISE (D.), GRANDPIERRE (R.), BIGET (P.), LEMAIRE (R.) et ROCHE. — L'exploration fonctionnelle des centres respiratoires. (1 vol., Paris, 1953.)
- SCHNEIDER (E.C.). — A cardiovascular rategy as a mesure of physical fatigue and efficiency. (*Journ. of the Am. Med. Assoc.*, Chicago, 1920, 74, 1507.)
- SINE (H.). — La fatigue. (*Thèse de Médecine*, Montpellier, 1942.)
- *SOULA. — Le travail et le rendement musculaire. (*Cours de Méd. du Travail*, 1 vol., Paris, Le François édit., 1953.)
- SOYER (R.V.). — L'aptitude à l'effort. (*Thèse de Médecine*, Marseille, 1934.)
- *TABUSSE (L.), BIGET (P.) et GOMEZ (A.). — Exploration fonctionnelle pulmonaire dans la sélection du personnel navigant. (*Méd. Aéron.*, 1952, 4, 337-345.)
- TABUSSE (L.), OLSEN et COLIN. — Modifications de la capacité vitale au cours de quelques épreuves d'hyperventilation. (*Journ. Physiologie*, 1954, 46, 531-536.)
- TIFFENEAU (R.), BOUSSER (J.), DRUTEL (P.). — Capacité vitale et capacité pulmonaire utilisable à l'effort. (*Paris Médical*, 1949, 39, 543-549.)
- TULOU (P.). — L'exploration de la fonction respiratoire. (*Thèse de Médecine*, Paris, 1943.)
- VULLIET (P.). — Contribution à l'étude des épreuves cardio-vasculaires d'effort. (*Thèse de Médecine*, Lyon, 1945.)
- ZETTEL et FINK. — Modifications électrocardiographiques après effort. (*Ass. Méd. C.V.*, 1939, p. 1032.)
- BERNARD (J.G.) et PERLES (R.). — Troubles de la conduction et épreuves cardio-vasculaires d'effort. (*Soc. de Méd. Milit. Franç.*, 1956, 10, 393-394.)

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	11
INTRODUCTION	13
CHAPITRE I. — Les principaux tests cardio-vasculaires et respiratoires employés dans la sélection médico-sportive	16
Les épreuves cardio-vasculaires	17
— L'épreuve de Lian	17
— L'épreuve de Pachon-Martinet	18
— L'indice cardiaque de Ruffier-Dickson	21
— L'épreuve de Schneider	22
— Test de Flack	25
— Le step-test	26
Les épreuves respiratoires	29
— Principales épreuves proposées par G. Coppée	30
— Epreuve de Margaria	31
— « Prova dello scalino »	33
CHAPITRE II. — Bases physiologiques de l'épreuve de l'escabeau (Les réactions cardio-vasculaires et respiratoires à l'effort)	34
— Appareil cardio-vasculaire	34
— Appareil respiratoire	38
— Le retour au calme	43
CHAPITRE III. — L'épreuve de l'escabeau (Appareillage — Protocole expérimental — Données de l'enregistrement)	45
— Appareillage	45
— Protocole expérimental	48
— Données de l'enregistrement graphique	50
CHAPITRE IV. — Résultats statistiques	53
— Caractères morphologiques des sujets	54
— Importance de l'effort fourni	54
— Réactions cardio-vasculaires	55
— Modifications de l'élimination urinaire	56
— Réactions respiratoires	57

CHAPITRE V. — Discussion des différents critères de l'épreuve de l'escabeau	65
— Critique de notre expérimentation	65
— La durée de l'épreuve	67
— Les réactions cardio-vasculaires	67
— Les réactions respiratoires	69
CHAPITRE VI. — La détermination d'un indice pour l'épreuve de l'escabeau ..	74
— La durée de l'exercice et le rythme cardiaque	74
— La consommation d'oxygène	75
— La ventilation pulmonaire	75
CHAPITRE VII. — Proposition pour la réalisation pratique et simplifiée de l'épreuve de l'escabeau	77
CONCLUSIONS	79
BIBLIOGRAPHIE	81

